M 2014

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

# DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO-ESTRUTURAL DE EMISSÁRIOS SUBMARINOS

ESTUDO DE CASO.

**FRANCISCO DOS SANTOS CARNEIRO CHAVES**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA
À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM
ENGENHARIA CIVIL

# DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO-ESTRUTURAL DE EMISSÁRIOS SUBMARINOS

Estudo de Caso

**FRANCISCO DOS SANTOS CARNEIRO CHAVES**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA**

Orientador: Professor Doutor Francisco de Almeida Taveira Pinto

JUNHO DE 2014

**MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2012/2013**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

http://www.fe.up.pt

Ao Meu Avô

## AGRADECIMENTOS

Finalizado este trabalho expresso os meus sinceros agradecimentos ao meu Orientador, Professor Francisco Taveira Pinto, pela total disponibilidade, rigor e profissionalismo demonstrado ao longo de todo este semestre. As suas recomendações resultaram invariavelmente em melhorias significativas na qualidade do trabalho e as suas explicações para uma melhor compreensão dos problemas analisados.

À minha família.

## RESUMO

A utilização de emissários submarinos para descarga de efluentes residuais pré-tratados no oceano é uma prática amplamente utilizada em todo o mundo. O tratamento pelos meios tradicionais, em Estações de Tratamento de Águas Residuais, vem associado a custos de exploração muito significativos, sobretudo no âmbito do tratamento secundário e terciário. Existe portanto um grande interesse em explorar a grande capacidade autodepurativa dos oceanos como meio complementar de tratamento de águas residuais, permitindo atenuar os níveis de tratamento secundário exigidos e eliminar a necessidade de tratamento terciário. Assistiu-se, no último século, à construção de inúmeros emissários submarinos em cidades costeiras um pouco por todo o mundo, contribuindo os seus sucessos e insucessos para uma melhor compreensão deste tipo de solução quer do ponto de vista técnico quer do ponto de vista ambiental.

Do ponto de vista de projeto, deverá ser feita uma análise cuidada das questões hidráulicas e estruturais associadas ao dimensionamento de um emissário submarino. Toma por isso, o presente trabalho, como principal objetivo, compreender quais as práticas correntes de dimensionamento de emissários submarinos bem como o desenvolvimento de uma metodologia de cálculo para aplicação expedita em ambiente de projeto.

A metodologia desenvolvida será aplicada ao dimensionamento hidráulico-estrutural de vários emissários submarinos, que se encontram atualmente em fase de estudo prévio, em diversos pontos da Ilha da Madeira, contribuindo a análise deste caso de estudo para melhor compreender quais os principais problemas inerentes à aplicação das diversas metodologias de dimensionamento de referência ao conjunto de casos de estudo selecionados.

PALAVRAS-CHAVE: Emissários Submarinos; Agitação Marítima; Interação Onda-Estrutura; Projeto; Ilha da Madeira.

## ABSTRACT

The use of marine outfalls to discharge pre-treated wastewater into the ocean is a commonly used practice throughout the world. The traditional treatment provided in Wastewater Treatment Plants is associated with high management costs, especially due to secondary and tertiary treatment processes. This way, exploring the natural self-cleansing capability of the ocean in order to allow for less secondary treatment intensity and even eliminating the necessity for tertiary treatment is of high interest. Throughout the last century many marine outfalls were built on several coastal cities throughout the world. Its successes and failures contributed significantly to an ever increasing knowledge of this solution be it on a technical or environmental point of view.

The project design of a marine outfall implies a careful analysis of the hydraulic and structural issues related with the outfall. This way, the main objective of this study is to understand the current criteria and procedures related with the design of marine outfalls and the development of a generalized and expedite design methodology.

The developed methodology will then be applied to a case study, namely the hydraulic and structural design of several marine outfalls which are currently under development on the Madeira Island. The main goal of this application is to understand the main issues regarding the application of a generalized design methodology to a group of selected cases and the problems that arise due to the particularities of each case.

KEYWORDS: Marine Outfalls; Design; Waves; Wave-Structure Interaction; Madeira Island.

## ÍNDICE GERAL

## ÍNDICE DE FIGURAS

## ÍNDICE DE TABELAS

## SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

$\overline{H}_{1/10}$ – média do 1/10 superior de um registo de alturas de onda [m]

$\overline{T}_C$ – período de onda médio das cristas [s]

$h_c$ – altura da estrutura de proteção de enrocamento [m]

$A_0$ – Área da secção da conduta antes da mudança de diâmetro, na formulação de Idelchick $[m^2]$

$A_1$ – Área da secção da conduta após da mudança de diâmetro, na formulação de Idelchick $[m^2]$

$A_{d,i}$ – área da secção do difusor associado ao *riser "i"* $[m^2]$

$A_{duck}$ – área da secção de descarga da válvula "*duckbill"* $[m^2]$

$A_{p,i}$ – área da secção da porta associada ao *riser "i"* $[m^2]$

$A_{r,i}$ – área da secção do *riser "i"* $[m^2]$

$C_0$ – concentração de coliformes no ponto de descarga [ufc/100ml] ou [coliformes/100ml] ou [un/100ml]

$C_{CT}$ – concentração de coliformes totais [ufc/100ml] ou [coliformes/100ml] ou [un/100ml]

$C_D$ – coeficiente de resistência, segundo a formulação de Morison [-]

$C_F$ – concentração de coliformes fecais [ufc/100ml] ou [coliformes/100ml] ou [un/100ml]

$C_L$ – coeficiente de sustentação [-]

$C_M$ – coeficiente de inércia, segundo a formulação de Morison [-]

$C_{c,i}$ – coeficiente de contração do jato associado ao *riser* "*i"* [-]

$C_m$ – coeficiente de massa hidrodinâmico, segundo a formulação de Morison [-]

$D_h$ - fator de dispersão horizontal [-]

$D_b$ - fator de inativação bacteriológica [-]

$D_i$ – Diluição inicial [-]

$D_{n50}$ – o diâmetro médio dos blocos do manto resistente, segundo a formulação de van der Meer [m]

$F_H$ – resultante da força horizontal [kN]

$F_T$ – força tangencial [kN]

$F_{Tmáx}$ – força tangencial máxima [kN]

$F_V$ – resultante da força vertical [kN]

$F_m(t)$ – força medida em modelo físico ao longo do tempo $[N]$

$F_p(t)$ – força expectável no protótipo ao longo do tempo $[N]$

$H_{design}$ – altura de onda de dimensionamento [m]

$L_D$ – comprimento total do difusor, na formulação de Xiaodong *et al.* [m]

$L_M$ – comprimento do troço marítimo do emissário submarino [m]

$L_T$ – comprimento do troço terrestre do emissário submarino [m]

$N_S$ – parâmetro de altura de onda adimensional, na formulação de van de Meer [-]

$N_S^*$ – parâmetro de estabilidade espectral, na formulação de van de Meer [-]

$Q_J$ – caudal individual do jato "j", na formulação de Xiaodong *et al.* $[m^3/s]$

$Q_T$ – caudal total descarregado, na formulação de Xiaodong *et al.* $[m^3/s]$

$T_{90}$ – "*Die-off rate"* [h]

$T_R$ – período de retorno [anos]

$T_W$ – período de onda [s]

$T_{design}$ – período de onda de dimensionamento [s]

$T_{turb}$ – total de tempo em que o escoamento é turbulento, na formulação de Chue [s]

$U_a$ – velocidade da corrente na direção predominante, na formulação de Brooks (1960) [m/s]

$U_{duck}$ – velocidade do escoamento na válvula "*duckbill"* [m/s]

$U_{jato_i}$ – velocidade de escoamento na secção de saída da porta "i" [m/s]

$U_m$ – velocidade máxima do escoamento [m/s]

$W_{b_{betão}}$ – peso submerso de um anel de betão [kN]

$W_{b_{conduta}}$ – peso submerso da conduta [kN]

$W_{b_{efluente}}$ – peso submerso do volume de efluente no interior do emissário [kN]

$W_{M.R.}$ – peso dos blocos do manto resistente [kN]

$W_b$ – peso submerso do conjunto associado a um anel de contrapeso e à extensão de emissário na sua área de influência [kN]

$W_{betão}$ – peso de um anel de betão [kN]

$W_{conduta}$ – peso da conduta [kN]

$W_{efluente}$ – peso do volume de efluente no interior do emissário [kN]

$W_{núcleo}$ – peso dos blocos do núcleo [kN]

$W_{u.c.}$ – peso da conduta por metro linear [kg/m]

$Z_{mín\ c.c.}$ – cota piezométrica mínima a garantir na câmara de carga [m]

$d_{port_i}$ – diâmetro da porta "*i"* [m]

$e_R$ – espaçamento entre *risers* [m]

$g_0'$ - gravidade reduzida, na formulação de Xiaodong *et al.* $[m/s^2]$

$p_{a,i}$ – pressão ambiente associada à secção de descarga na porta do *riser "i"* [Pa]

$p_{d,i}$ – pressão interna, ao nível do eixo do difusor, na secção associada ao *riser "i"* [Pa]

$q_i$ – caudal descarregado pelo *riser "i"* $[m^3/s]$

$s_o$ – declividade de onda em relação ao período de pico [-]

$z_{máx}$ – altura máxima atingida pela pluma no campo próximo, na formulação de Xiaodong [m]

$\alpha_i$ – coeficiente relativo ao número de portas associado ao *riser "i"* [-]

$\gamma_{betão}$ – peso volúmico do betão $[kN/m^3]$

$\gamma_{conduta}$ – peso volúmico do material da conduta $[kN/m^3]$

$\gamma_{efluente}$ – peso volúmico do efluente no interior do emissário $[kN/m^3]$

$\gamma_{esgoto}$ – peso volúmico das águas residuais descarregadas $[kN/m^3]$

$\gamma_{mar}$ – peso volúmico da água do mar $[kN/m^3]$

$\xi_{12}$ – coeficiente de perda de carga localizada no sentido difusor – *riser* [-]

$\xi_{13}$ – coeficiente de perda de carga localizada no sentido do escoamento principal [-]

$\xi_{cc}$ – coeficiente de perda de carga localizada na saída da câmara de carga [-]

$\xi_{duck}$ – coeficiente de perda de carga localizada na válvula do tipo "*duckbill"* [-]

$\xi_{m.d.}$ – coeficiente de perda de carga localizada numa mudança de diâmetro [-]

$\xi_{rp}$ – coeficiente de perda de carga localizada na transição *riser* – porta de descarga [-]

$\rho_0$ – massa volúmica da água da água residual descarregada, na formulação de Xiaodong *et al.* $[kg/m^3]$

$\rho_a$ – massa volúmica da água do mar, na formulação de Xiaodong *et al.* $[kg/m^3]$

$\rho_e$ – massa volúmica do efluente $[kg/m^3]$

A – área exposta ao escoamento, segundo a formulação de Morison $[m^2]$

b – impulsão da massa específica, na formulação de Xiaodong *et al.* $[m^3/s^3]$

b – projeção da largura inicial da pluma na direção perpendicular à da corrente dominante, na formulação de Brooks (1960) [m]

C – concentração de coliformes junto à costa [ufc/100ml] ou [coliformes/100ml] ou [un/100ml]

D – diâmetro da conduta [m]

D – diâmetro do emissário submarino [m]

d – profundidade [m]

e – distância entre o fundo marítimo e a geratriz inferior do emissário submarino [m]

e – espaçamento entre anéis de contrapeso

e.p. – população equivalente [hab]

Fr – número de Froude [-]

FS – fator de segurança [-]

g – aceleração da gravidade $[m/s^2]$

H – altura de onda [m]

H – profundidade da descarga, na formulação de Xiaodong *et al.* [m]

h – profundidade local [m]

j – perda de carga unitária [m/m]

k – número de onda [rad/m]

k – rugosidade interna [mm]

KC – número de Keulegan-Carpenter

L – comprimento de onda [m]

L – largura da pluma a uma distância "*x*" do ponto de descarga, na formulação de Brooks (1960) [m]

N – frequência de Brunt–Väisälä

q – caudal por unidade de comprimento do difusor, na formulação de Xiaodong *et al.* $[m^2/s]$

r – raio da trajetória de uma partícula de água [m]

S – nível de estragos admissível, segundo a formulação de van der Meer [-]

T - período de onda [s]

T – tempo total de observação, na formulação de Chue [s]

u – componente horizontal da velocidade [m/s]

U – velocidade do escoamento [m/s]

u – velocidade do escoamento em torno do difusor provocado pela corrente marítima, na formulação de Xiaodong *et al.* [m/s]

V – volume da câmara de carga $[m^3]$

w – componente vertical da velocidade [m/s]

w – frequência angular de onda [rad/s]

W – peso dos blocos do manto resistente, segundo a formulação de van der Meer [kN]

x – distância ao ponto de descarga, na formulação de Brooks (1960) [m]

$\Delta H_{loc}$ – perda de carga localizada [m]

Ω – fator de intermitência de Chue [-]

$\eta$ – altura da superfície livre em relação ao fundo marítimo [m]

$\lambda$ – coeficiente de resistência [-]

$\nu$ – coeficiente de viscosidade cinemática $[m^2/s]$

$\rho$ – massa volúmica $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

$\phi'$ - ângulo de atrito [º]

# 1
# Emissários Submarinos. Introdução.

## 1.1. CONCEITO GERAL DE FUNCIONAMENTO

A descarga de efluentes residuais pré-tratados no oceano é uma prática comum em muitas cidades costeiras de todo o mundo. Trata-se de uma solução muito competitiva que, quando adequadamente projetada, revela resultados muito satisfatórios do ponto de vista económico e ambiental. No passado, a descarga destes efluentes era feita de forma indiscriminada, em zonas costeiras e cursos de água, muitas vezes sem qualquer tipo de tratamento. Os aglomerados urbanos eram de dimensões diminutas quando comparados com os atuais e havia, já na altura, a perceção de que o meio recetor possuía uma certa capacidade de "autolimpeza" que minimizava os efeitos das descargas que se iam realizando. A esse fenómeno denominamos, atualmente, por capacidade autodepurativa do meio hídrico. A razão pela qual o sistema de descarga implementado no passado entrou em falência prende-se uma crescente densificação dos aglomerados urbanos. O forte crescimento populacional das cidades conduziu a um aumento muito significativo do volume das descargas residuais, acabando por se ultrapassar a capacidade natural de autodepuração do meio recetor. Atingido esse ponto começou a assistir-se a um forte aumento dos indicadores de poluição dos rios e praias atingindo-se em muitos locais um estado de risco para a saúde pública. Começa, assim, a surgir a necessidade de pré-tratar o efluente residual antes do seu lançamento no meio hídrico, que no fundo não é mais do que compatibilizar o grau de poluição da descarga com a capacidade autodepurativa do meio recetor. A forte evolução dos sistemas de tratamento utilizados nas Estações de Tratamento de Águas Residuais permite, no presente, atingir níveis de tratamento sem precedentes, embora a troco de elevados custos financeiros. Quanto melhores os resultados desejados mais complexos os sistemas de tratamento e maior o custo a si associado.

O papel dos emissários submarinos centra-se precisamente em procurar mobilizar a máxima capacidade autodepurativa do meio, afastando o ponto de descarga da costa, minimizando deste modo o grau de pré-tratamento exigido nas Estações de Tratamento de Águas Residuais. Tal como se poderá constatar no presente trabalho, a utilização de emissários submarinos devidamente dimensionados, elimina por completo a necessidade de tratamento terciário e diminui a intensidade necessária de tratamento secundário. Note-se que o tratamento secundário tradicionalmente utilizado em Estações de Tratamento de Águas Residuais, por processos de lamas ativadas, constitui a principal fonte de consumo energético de uma ETAR.

## 1.2. COMPONENTES E FUNÇÕES

Apesar de em termos práticos se denominar todo o sistema de emissário submarino, na realidade, o emissário é apenas a conduta que transporta o efluente tratado desde a câmara de carga até ao difusor, configurando-se os três principais componentes do sistema da forma representada esquematicamente na figura 1.1.

Cada uma das três componentes deverá ser estudada do ponto de vista hidráulico e estrutural, embora no presente trabalho não sejam abordadas as questões estruturais da câmara de carga.

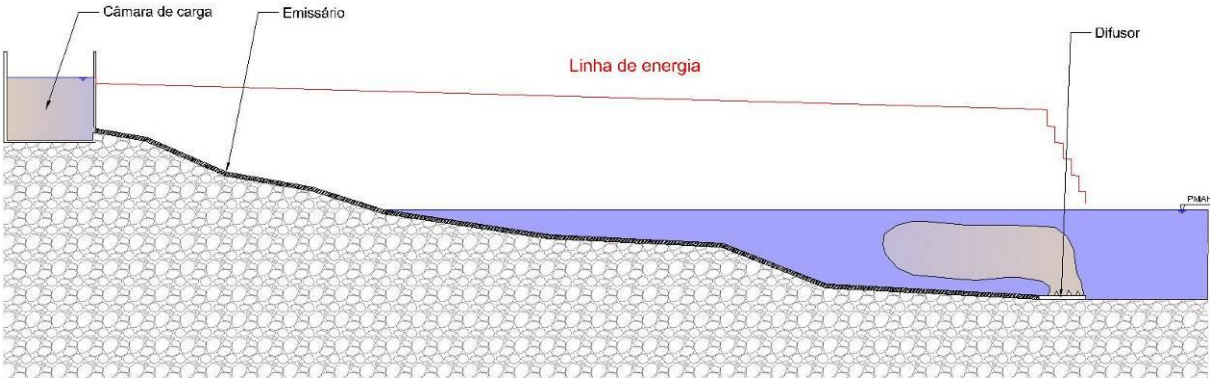



Figura 1.1 – Esquema básico de funcionamento de um emissário submarino.

### 1.2.1. CÂMARA DE CARGA

Do ponto de vista hidráulico, as principais funções da câmara de carga, Figura 1.2, poderão ser de três tipos. Por um lado garante que todo o escoamento no interior do emissário se processa sobre pressão e serve como elemento regulador da linha de energia. Como se verá adiante, uma vez calculadas as perdas de carga de todo o sistema definir-se-á a cota mínima que é necessário garantir na câmara de carga para que o sistema funcione corretamente. Não é mais, no fundo, do que garantir a montante um nível de energia suficiente para que todas as perdas de carga sejam vencidas e o caudal e velocidades de projeto sejam garantidos. Note-se que, o incumprimento do nível mínimo de exploração da câmara de carga não implica a interrupção do funcionamento do sistema, simplesmente não serão obtidos os níveis ótimos de velocidade e diluição previstos em projeto. A forma como a câmara de carga é explorada caberá, normalmente, à entidade gestora da ETAR que deverá compatibilizar as flutuações de efluente tratado com o volume disponível na câmara de carga. Em sistemas que servem pequenos aglomerados populacionais, onde os caudais descarregados são tipicamente baixos haverá sérias dificuldades em garantir um bom funcionamento de um sistema de emissário submarino. Baixos caudais implicariam utilizar diâmetros de reduzidas dimensões ou admitir velocidades de escoamento baixas o que conduziria inevitavelmente a problemas de sedimentação ou acumulação de gordura no interior do emissário, fenómenos altamente prejudiciais para o funcionamento do sistema. Para combater esta problemática poderá dimensionar-se todo o sistema para um funcionamento do tipo intermitente. Este tipo de sistema tem determinadas especificidades que serão discutidas em capítulos posteriores, nomeadamente por existirem problemas de intrusão salina durante os períodos em que o sistema não se encontra em

funcionamento. Em sistemas de funcionamento intermitente, o dimensionamento da câmara de carga deverá prever, em função do tempo de retenção máximo admissível e do caudal mínimo aceitável para um bom funcionamento do sistema, qual o volume ótimo de armazenamento.

Serão muitos os casos em que não será possível garantir a cota mínima de exploração da câmara de carga por razões geográficas. Em zonas costeiras de baixa declividade ocorrerão, tipicamente, dificuldades em garantir o funcionamento gravítico do sistema e será necessário o recurso a sistemas de bombagem que, artificialmente, forneçam ao sistema a energia de que este necessita para um funcionamento pleno. Trata-se de uma situação altamente indesejável face aos custos energéticos a si associados bem como aos tradicionais problemas de manutenção que os grupos eletromecânicos revelam. Apesar de indesejável é por vezes, simultaneamente, inevitável.

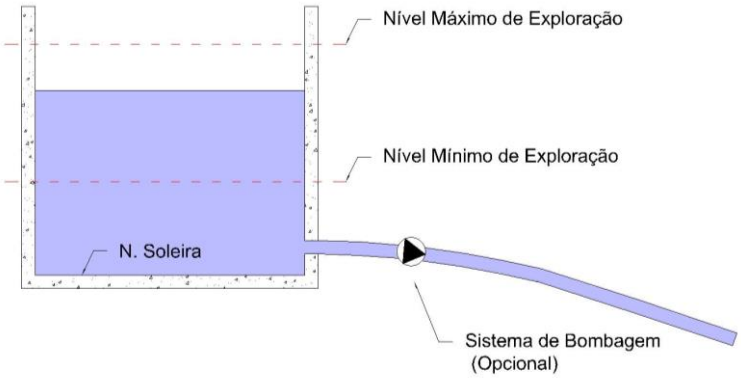



Figura 1.2 – Esquema simplificado de uma câmara de carga

### 1.2.2. EMISSÁRIO

Tal como previamente referido, a conduta, que constitui o emissário, transporta o efluente pré-tratado desde a câmara de carga até ao difusor, onde é efetivamente descarregado para o oceano. Trata-se do elemento mais oneroso de todo o sistema e que carece de maior atenção, sobretudo do ponto de vista estrutural. As várias soluções estruturais e o seu âmbito de utilização serão discutidas em capítulos posteriores. Caberá ao projetista, em função dos níveis de agitação marítima e das condições geológicas locais perceber qual a solução mais adequada, sendo que o custo associado à conduta, propriamente dita, é praticamente desprezável quando comparado com o custo das medidas de proteção estrutural bem como dos meios necessários à sua colocação.

#### 1.2.2.1. Materiais

São diversos os tipos de materiais passíveis de serem utilizados em emissários submarinos e a sua escolha dependerá sobretudo de fatores económicos, da tecnologia de assentamento disponível e da sua disponibilidade no local de construção. O tipo de material a adotar poderá condicionar o método construtivo, ou vice-versa, uma vez que determinados métodos implicam explorar as capacidades dúcteis de determinados materiais. O melhor exemplo dessa situação é a tecnologia de assentamento *Float & Sink*, abordado posteriormente. Trata-se do método mais popular para assentamento de condutas

sobre o fundo marítimo e implica que o material utilizado, sendo normalmente PEAD, tenha propriedades dúcteis.

As condutas mais frequentemente utilizadas para aplicação em emissários submarinos são:

- Polietileno de alta densidade (PEAD), Figura 1.3;
- Aço inoxidável;
- Ferro fundido dúctil (FFD);
- Betão armado;
- Plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV), Figura 1.4;
- Túnel escavado sobre rocha.

Destaca-se que o material mais utilizado em projetos de emissários submarinos é o polietileno de alta densidade (PEAD) já que apresenta diversas vantagens técnicas quando comparado com os restantes. A sua elevada ductilidade permite que se adapte aos inevitáveis movimentos do fundo marítimo, quer por fenómenos erosivos quando colocado sobre fundos arenosos, quer pelo movimento relativo de maciços rochosos, quando colocado sobre um fundo rochoso. Um emissário poderá estender-se por centenas de metros pelo que o seu transporte desde a fábrica até ao estaleiro de obra terá inevitavelmente de ser realizado por troços que serão assemblados *in-situ.* Mais uma vez as condutas de polietileno de alta densidade revelam-se vantajosas já que poderão ser assembladas de forma expedita através de soldadura do tipo "topo a topo". É frequente que o fabricante das condutas disponha de meios técnicos e humanos para executar as tarefas de soldadura. Tal como previamente referido, o método para assentamento de emissários submarinos é do tipo *Float & Sink*, método especialmente desenvolvido para condutas de PEAD.

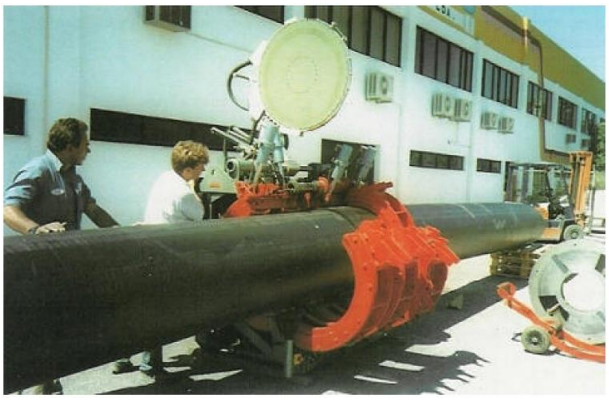


Figura 1.3 – Conduta em Polietileno de Alta Densidade (PEAD), Politejo

Figura 1.4 – Plástico Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV), Composites World

### 1.2.3. DIFUSOR

Acoplado na extremidade de jusante do emissário, caberá ao difusor descarregar as águas residuais pré-tratadas diretamente no oceano. Desempenha um papel crucial do ponto de vista hidráulico uma vez que estará incumbido de realizar a primeira mistura de efluente com a água marítima. A sua maior ou menor capacidade de realizar essa mistura será medida através de um parâmetro designado por diluição inicial e será um dos fatores mais determinantes do ponto de vista de eficiência ambiental de todo o sistema.

Geralmente, quanto maior for o número de *risers* associado ao difusor, maior será o parâmetro de diluição inicial associado ao sistema. Geralmente, quanto mais complexa a geometria do sistema difusor, melhor será a "mistura" entre a água marítima e o volume de águas residuais descarregado, sobretudo porque é associada uma maior massa de água do mar ao processo. Existem no entanto desvantagens do ponto de vista da performance hidráulica do sistema. Quanto mais complexa a geometria do difusor maiores serão as perdas de carga associadas às singularidades do difusor. Consequentemente, a distribuição de caudal pelos vários *risers* será menos regular, o que, como se discutirá posteriormente, se traduz também em perdas de eficiência ambiental do sistema.

A forma mais comum de um difusor assemelhar-se-á à representada na figura 1.5, no entanto as hipóteses são inúmeras. Muitas variações poderão ser introduzidas à geometria do difusor, quase sempre com o objetivo de minimizar o efeito negativo das singularidades nas perdas de carga localizadas.

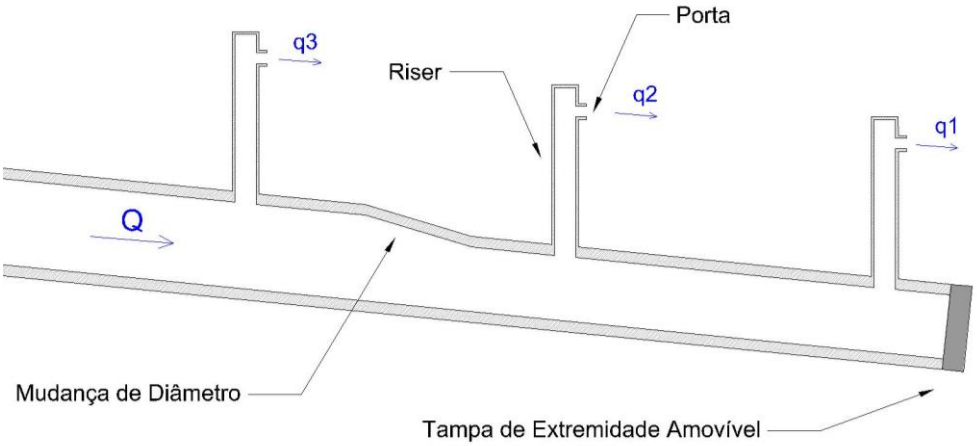



Figura 1.5 – Esquema simplificado do troço final de um difusor

O efluente descarregado neste tipo de estruturas, apesar submetido a tratamento prévio em ETAR, tratando-se de águas residuais, estará imbuído de partículas em suspensão e gorduras cujo risco de acumulação no interior do difusor é altamente prejudicial ao seu bom funcionamento. Muitos são os casos em que parte ou a totalidade do difusor acaba por se encontrar bloqueada face à deposição de sedimentos e gorduras. Verifica-se frequentemente uma redução permanente da capacidade hidráulica do difusor ao longo dos anos que conduz a descargas irregulares ao longo da estrutura. As velocidades do escoamento e a diluição conseguida são por vezes severamente afetados por tais bloqueios sendo por isso recomendável a realização e cumprimento de planos de manutenção que visem mitigar tais efeitos. Para esse fim, a extremidade de jusante do difusor deverá estar equipada de uma tampa amovível que permita o acesso ao interior do difusor para realização de operações de limpeza.

Os fenómenos de obstrução do difusor são geralmente mais acentuados em sistemas de funcionamento intermitente, vitimas de intrusão salina durante os períodos de não funcionamento. A permanência de água marinha no interior do difusor é especialmente nefasta uma vez que propicia a entrada de sedimentos e a colonização do difusor por seres vivos marítimos, resultando em rápidos bloqueios do sistema. Também em sistemas de funcionamento permanente tal fenómeno poderá ocorrer quando a velocidade conseguida em cada jato de descarga for insuficiente para evitar a ocorrência de intrusão salina primária. Como se verá adiante existem dois tipos de intrusão salina, primária e secundária e tal fenómeno deverá ser devidamente acautelado no projeto hidráulico da estrutura. Em estruturas de funcionamento intermitente será muito aconselhável a utilização de válvulas do tipo *duckbill*, ou de tipo semelhante, que evite a entrada de água salgada no sistema durante os períodos de não funcionamento do emissário.

Sendo o difusor um dos principais elementos de todo o emissário submarino, deverá ser provido de um sistema de proteção estrutural que impeça o seu movimento face à ação da agitação marítima. A natureza do fundo marítimo deverá condicionar o tipo de solução adotada. Em fundos arenosos, deverão ser conduzidos estudos de dinâmica sedimentar que procurem prever a máxima variação do nível do fundo marítimo, enterrando-se o difusor a uma profundidade compatível com a variação expectável. No caso de fundos rochosos, o difusor deverá ser provido de elementos de proteção estrutural de outro tipo, dependendo da profundidade a que se encontra localizado e da agitação marítima local. Quando os níveis de velocidade do escoamento em torno do difusor forem elevados, este deverá encontrar-se protegido por um manto resistente de enrocamento. Caso contrário será possível assentar o difusor diretamente no fundo, providenciando um sistema de ancoragem adequado, por cravação do difusor no solo ou por amarração de contrapesos de dimensão adequada.

Um correto cálculo hidráulico do difusor é essencial para garantir o bom funcionamento de todo o sistema. Será um tópico a que se dedicará especial atenção no presente trabalho uma vez que uma correta previsão do grau de diluição proporcionado pelo difusor poderá traduzir-se numa redução muito significativa do comprimento necessário para o emissário submarino.

Figura 1.6 – Exemplo de difusor dotado de contrapesos, *MixZon Inc ©2014*

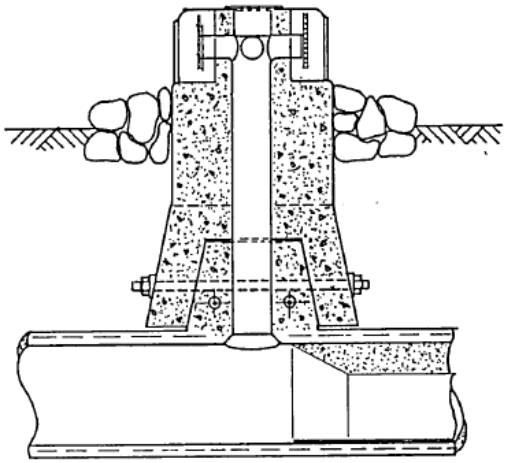


Figura 1.7 – Esquema de difusor enterrado e sistema de proteção de um *riser*, *Cascaes (1991)*

## 1.3. ENQUADRAMENTO LEGAL PARA DESCARGA DE ÁGUAS RESIDUAIS EM MEIO HÍDRICO

A descarga de águas residuais em meio hídrico em Portugal, deverá respeitar os pressupostos expressos no Decreto-Lei 152/97 que transpõe para a regulamentação portuguesa a Diretiva 91/271/CEE do Conselho. Simultaneamente, deverão ser cumpridos os critérios de qualidade balnear impostos pela Diretiva 2006/7/CE do Parlamento Europeu e do Conselho.

Do ponto de vista da qualidade balnear das águas costeiras, o principal aspeto a analisar em relação à descarga de águas residuais pré-tratadas através de emissários submarinos será o impacto em termos de parâmetros microbiológicos que tais descargas possam ter nas zonas de praia. De acordo com o Decreto-Lei 236/98, Anexo XV, deverão ser respeitados os valores mínimos absolutos especificados na seguinte tabela:

ANEXO XV

Qualidade das águas balneares

| Parâmetros | Expressão dos resultados | VMR | VMA | Frequência mínima de amostragem | Métodos analíticos de referência |
|---|---|---|---|---|---|
| **Microbiológicos** | | | | | |
| Coliformes totais ..... | /100 ml | 500 | 10 000 | Quinzenal (1) | Fermentação em tubos múltiplos. Subcultura dos tubos positivos em meios de confirmação. Determinação por NMP (número mais provável). Ou |
| Coliformes fecais ..... | /100 ml | 100 | 2 000 | Quinzenal (1) | Filtração através de membrana e cultura em meio apropriado, tal como ágar de lactose e tergitol, ágar de endo, caldo com *teepol* a 0,4 %, subcultura e identificação de colónias suspeitas. A temperatura de incubação é variável, consoante se pretenda determinar os coliformes totais ou os coliformes fecais. |
| Estreptococos fecais ..... | /100 ml | 100 | — | (2) | Método de Litsky. Determinação por NMP. Ou Filtração através de membrana e cultura em meio apropriado. |
| Salmonelas ..... | /1 l | — | 0 | (2) | Concentração por filtração em membrana. Inoculação em meio tipo. Enriquecimento, subcultura em ágar de isolamento e identificação. |
| Enterovírus ..... | PFU/10 l | — | 0 | (2) | Concentração por floculação, filtração ou centrifugação e confirmação. |

Tabela 1.1 – Excerto do Anexo XV, do Decreto-Lei 236/98

Quanto à classificação qualitativa das águas balneares, aspeto a que é dada elevada relevância pelas entidades autárquicas, esta será atribuída de acordo com as especificações da Diretiva 2006/7/CE do Parlamento Europeu e do Conselho que constam na tabela 1.2. De acordo com os objetivos pretendidos, as especificações mencionadas na tabela 1.2 serão um dos critérios de dimensionamento hidráulico a ter em conta em fase de projeto. Note-se que as limitações referem-se a amostras obtidas junto à costa nas zonas balneares.

*ANEXO I*

**Águas interiores**

| | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| | Parâmetro | Qualidade excelente | Qualidade boa | Qualidade suficiente | Métodos de análise de referência |
| 1 | Enterococos intestinais em ufc/100 ml | 200 (*) | 400 (*) | 330 (**) | ISO 7899-1 ou ISO 7899-2 |
| 2 | *Escherichia coli* em ufc/100 ml | 500 (*) | 1 000 (*) | 900 (**) | ISO 9308-3 ou ISO 9308-1 |

(*) Com base numa avaliação de percentil 95. Ver anexo II.
(**) Com base numa avaliação de percentil 90. Ver anexo II.

**Águas costeiras e de transição**

| | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| | Parâmetro | Qualidade excelente | Qualidade boa | Qualidade suficiente | Métodos de análise de referência |
| 1 | Enterococos intestinais em ufc/100 ml | 100 (*) | 200 (*) | 185 (**) | ISO 7899-1 ou ISO 7899-2 |
| 2 | *Escherichia coli* em ufc/100 ml | 250 (*) | 500 (*) | 500 (**) | ISO 9308-3 ou ISO 9308-1 |

(*) Com base numa avaliação de percentil 95. Ver anexo II.
(**) Com base numa avaliação de percentil 90. Ver anexo II.

Tabela 1.2 – Anexo I da Diretiva 2006/7/CE do Parlamento Europeu e do Conselho

Tal como mencionado previamente, a utilização de emissários submarinos poderá conduzir à eliminação da fase de tratamento terciário e aligeiramento ou eliminação do tratamento secundário prestado nas Estações de Tratamento de Águas Residuais. Do ponto de vista regulamentar, tal situação vem salvaguardada na Diretiva 91/271/CEE do Conselho:

*"Artigo 4º, nº 1 – Os Estados-membros devem garantir que as águas residuais urbanas lançadas nos sistemas de coletores sejam sujeitas, antes da descarga, a um tratamento secundário ou processo equivalente, nas seguintes condições:*

*- o mais tardar até 31 de Dezembro de 2000, quanto a todas as descargas a partir de aglomerações com e.p. superior a 15 000,*

*- o mais tardar até 31 de Dezembro de 2005, quanto às descargas a partir de aglomerações com e.p. situado entre 10 000 e 15 000,*

*- o mais tardar até 31 de Dezembro de 2005, quanto às descargas em água doces e estuários a partir de aglomerações com um e.p. situado entre 2 000 e 10 000."*

*"Artigo 6º, nº 2: As descargas de águas residuais urbanas provenientes de aglomerações com um e.p. entre 2 000 e 150 000, efetuadas em águas costeiras, e as provenientes de aglomerados com um e.p. entre 2 000 e 10 000, efetuadas em estuários situados em zonas a que se refere o nº 1, podem estar sujeitas a um tratamento menos rigoroso que o estabelecido no artigo 4º, desde que:*

*- tais descargas recebam pelo menos um tratamento primário, tal como definido no nº 7 do artigo 2º e segundo os métodos de controlo a que se refere o anexo I ponto D,*

*- estudos exaustivos indiquem que tais descargas não irão deteriorar o ambiente."*

*"Artigo 8º, nº 5: Em circunstâncias excecionais, quando se provar que um tratamento mais avançado não apresenta vantagens ambientais, as descargas de águas residuais em zonas menos sensíveis a partir de aglomerações com um e.p. superior a 150 000 podem ser sujeitas ao tratamento previsto no artigo 6º, quanto às águas residuais a partir de aglomerações com um e.p. situado entre 10 000 e 150 000."*

## 1.4. INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DE EMISSÁRIOS SUBMARINOS

Tal como qualquer outra estrutura marítima, os emissários submarinos estão sujeitos à aleatoriedade da agitação marítima. O risco associado à agitação marítima e à constante possibilidade de que as cargas de projeto sejam excedidas, não é, no entanto, o principal motivo de danos neste tipo de estrutura. Do ponto de vista estrutural, as principais razões pelas quais deverão ser realizadas inspeções exteriores regulares ao corpo de um emissário submarino são, danos provocados pela âncora de embarcações, movimentações do fundo por via de erosão sedimentar, terramotos. Em zonas protegidas por enrocamento, é ainda possível a ocorrência de danos estruturais em fase de construção, pela perfuração da conduta aquando da descarga desses elementos.

Do ponto de vista hidráulico, a situação agrava-se, sendo muito frequente o bloqueio de alguns elementos do difusor, quer pela entrada de objetos de grande dimensão em sistemas de pequeno diâmetro, quer pela acumulação de sedimentos e gorduras em torno do perímetro molhado do difusor. Note-se que os últimos trechos de um difusor encontram-se frequentemente a funcionar com velocidades baixas uma vez que transportam um caudal muito reduzido. Nesses locais em que a capacidade de autolimpeza é diminuída, é frequente a ocorrência de bloqueios do sistema.

Em emissários de grandes dimensões é usual realizar inspeções ao exterior e interior do difusor, com o auxilio de mergulhadores e/ou viaturas de inspeção vídeo, à semelhança das práticas correntemente utilizadas em sistemas de drenagem de águas residuais.

## 1.5. EMISSÁRIOS SUBMARINOS EM PORTUGAL

Em Portugal, tradicionalmente, os grandes aglomerados populacionais estão localizados no litoral do país, Figura [1.8]. Como tal, a utilização do oceano como meio final para disposição dos efluentes residuais urbanos, apresenta-se como solução muito atrativa. A consequência é visível na Figura [1.9], onde se pode constatar uma forte presença de emissários submarinos ao longo de toda a costa portuguesa.

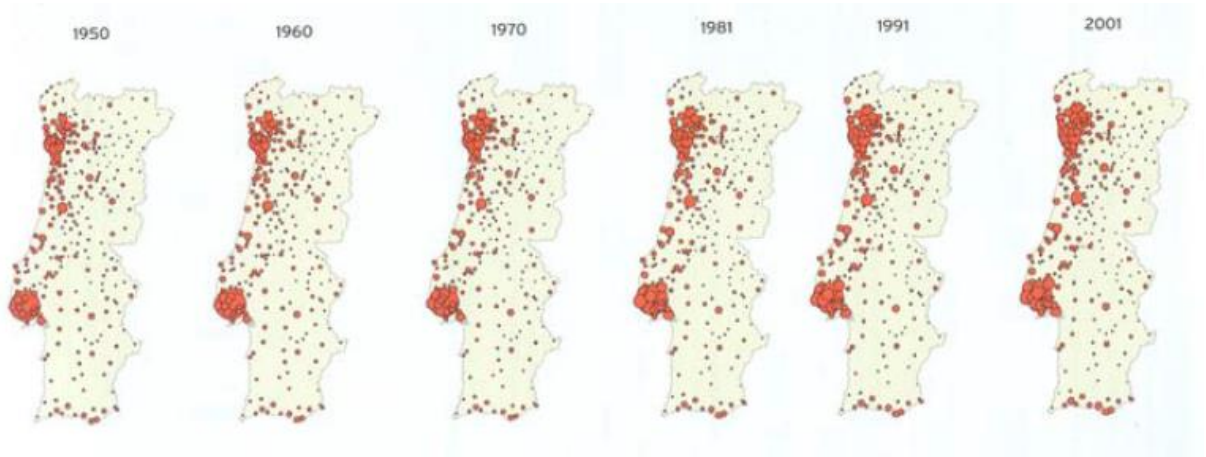



Figura 1.8 – Evolução da distribuição espacial da população portuguesa, *Marques T.S. (2005)*

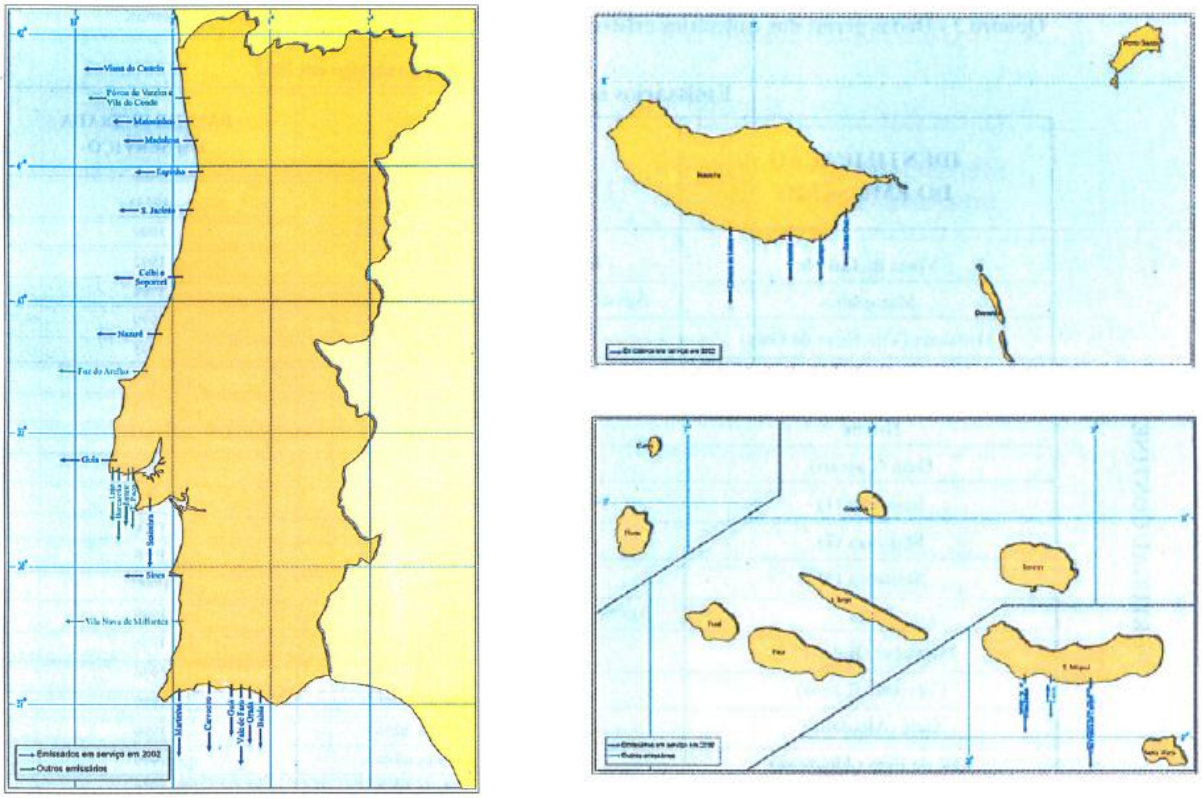


Figura 1.9 – Distribuição espacial de emissários submarinos em Portugal, *Veloso dos Reis et al. (2004)*

A análise das diversas soluções adotadas para os principais emissários submarinos portugueses permite extrair importantes conclusões que auxiliam a compreensão e validação das soluções apresentadas para o caso de estudo analisado no presente trabalho, Tabela 1.3

Verifica-se, em primeiro lugar, que a maioria dos emissários submarinos portugueses são executados em PEAD, variando os seus diâmetros entre os 250 mm, em Vila Franca do Campo, S. Miguel, e 1600 mm, em Aveiro. O principal aspeto de destaque deverá ser a profundidade máxima a que se localizam os emissários, verificando-se que, apesar de grandes variações de comprimento, existe uma forte relação entre a profundidade e o diâmetro do emissário, relacionado com o caudal descarregado. Repare-se que, para emissários de pequeno diâmetro, de dimensões idênticas aos emissários analisados no presente estudo para a Ilha da Madeira, as profundidades máximas são reduzidas.

**Emissários submarinos em serviço em 2002**

| | IDENTIFICAÇÃO DO EMISSÁRIO | MATERIAIS | COMPRIMENTO (m) | DIÂMETRO DO EMISSÁRIO (mm) | DIÂMETRO MAX DO DIFUSOR (mm) | DIÂMETRO MIN DO DIFUSOR (mm) | PROFUNDIDADE MÁXIMA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PORTUGAL CONTINENTAL | Viana do Castelo | Betão armado com alma de aço? | 2250? | 900? | 600? | 600? | (-17,5m) ZH? |
| | Matosinhos | Betão revestido a chapa (troço 1)/PEAD | 2748 | 1600 (troço 1)/ 1200 (troço 2) | 1200 | 450 | (-27,0m) ZH |
| | Madalena (Vila Nova de Gaia) | PEAD? | 2192? | 800? | 800? | 800? | (-17,9m) ZH? |
| | Espinho | PEAD | 2000 | 800 | 800 | 400 | (-9,0m) ZH |
| | São Jacinto (Aveiro) | PEAD | 3389 | 1600 | 1600 | 1200 | (-14,5m) ZH |
| | Celbi e Soporcel (Figueira da Foz) | GRP[1] /MDPE[2] | 1163[1]+1526[2] | 1200 | 1200 | 1200 | (-11,0m) ZH |
| | Nazaré | PEAD | 838 | 560 | 450 | 450 | (-20,0m) ZH |
| | Guia (Cascais) | FFD (Troço 1)/PEAD | 900 (FFD) + 2250 (PEAD) | 1800 (FFD/ 1200 (PEAD) | 1200 | 800 | (-41,0m) ZH |
| | Sesimbra (1) | PEAD? | ? | ? | ? | ? | ? |
| | Sesimbra (2) | PEAD? | ? | ? | ? | ? | ? |
| | Sesimbra (3) | PEAD? | ? | ? | ? | ? | ? |
| | Sines | Aço revestido a betão | 2432 | 1100 | 1100 | 1100 | (-38,0m) ZH |
| | Martinhal (Baleeira) | PEAD/FFD (difusor) | 1822(16,6m em FFD) | 450 | 450 | 450 | (-23,6m) ZH |
| | Carvoeiro (Lagoa) | PEAD | 1582 | 280 | 225 | 225 | (-23,0m) ZH |
| | Galé (Albufeira) | PEAD | 1724 | 400 | 400 | 400 | (-14,15m) ZH |
| | Vale de Faro (Albufeira) | PEAD | 956 | 400 | 315 | 315 | (-7,5m) ZH |
| | Orada (Albufeira) | PEAD | 580 | 400 | 315 | 315 | (-7,2m) ZH |
| | Balaia (Albufeira) | PEAD/FFD (difusor) | 110[1]+1500[2] (difusor: 10m) | 400 | 350 | 250 | (-8,4m) ZH |
| MADEIRA | Santa Cruz | PEAD? | 800? | 315? | 315? | 315? | (-55,0m) ZH? |
| | Caniço | PEAD? | 478,5? | 400? | 400? | 400? | (-60,0m) ZH? |
| | Funchal | PEAD? | 606? | 1200? | 1000? | 560? | (-52,2m) ZH? |
| | Câmara de Lobos | PEAD? | 550? | 355? | 355? | 355? | (-57,0m) ZH? |
| AÇORES | Vila Franca do Campo (São Miguel) | PEAD? | 1234? | 250? | 200? | 200? | (-27,0m) ZH? |
| | Pranchinha (São Miguel) | PEAD | 852 | 500 | 500 | 500 | (-28,6m) ZH |

Tabela 1.3 – Principais características dos emissários submarinos portugueses, *Veloso dos Reis (2005)*

## 1.6. EMISSÁRIOS SUBMARINOS NO MUNDO

A utilização de emissários submarinos para disposição de efluentes residuais pré-tratados no oceano é, tal como previamente referido, uma prática muito comum em todo o mundo. Tal como em todas as outras obras de Engenharia Civil, surgem no mundo alguns casos atípicos, de grande interesse, que procuram testar os extremos da aplicabilidade de um emissário submarino. Serão assim enunciados, seguidamente, alguns dos emissários submarinos mais desafiantes do ponto de vista de Engenharia alguma vez executados.

### 1.6.1. EMISSÁRIO SUBMARINO DE LIMA, PERU

O emissário submarino de Lima, Peru, deverá realizar a descarga do efluente residual de uma Estação de Tratamento de Águas Residuais que serve uma população de aproximadamente 4 milhões de habitantes, a que corresponde um caudal médio afluente de cerca de 14 $m^3/s$ e um caudal máximo de 20 $m^3/s$. O cálculo hidráulico conduziu a equipa projetista a selecionar para o emissário submarino um diâmetro interior de 3000 mm. Apesar do seu grande diâmetro, é possível encontrar outros emissários de diâmetro equivalente ou superior. O aspeto que torna este emissário digno de destaque é o facto de se tratar do emissário de maior diâmetro alguma vez realizado em PEAD, Figura 1.10.

Figura 1.10 – Colocação de anel de contrapeso de betão no emissário submarino de Lima, Peru, *Grupo PPA*

Figura 1.11 – Estaleiro de obra. Emissário Submarino de Lima, Peru, *KRAH AG*

Apresentam-se ainda algumas características do projeto, como por exemplo,

- Comprimento total do emissário, 3900 m;
- Profundidade máxima, 20 m;
- Diâmetro interior, 3000 mm;
- Comprimento do difusor, 1000 m;
- Diâmetros utilizados no difusor, 3000 mm / 2400 mm / 1800 mm;
- Vida útil de projeto, 100 anos.

Figura 1.12 – Difusor do emissário submarino de Lima, Peru, acoplado a flutuadores, *KRAH AG.*

### 1.6.2. EMISSÁRIO SUBMARINO DE MONTPELLIER, FRANÇA

Localizado no sul de França, o emissário submarino de Montpellier descarrega o efluente de uma Estação de Tratamento de Águas Residuais com capacidade para tratamento do efluente residual de uma população de cerca de 470 000 habitantes. A existência de uma área de piscicultura em mar aberto a cerca de 4 km da costa introduziu um sério obstáculo em termos da capacidade de diluição produzida pelo emissário sendo, por esse motivo, determinado pela equipa projetista, que o ponto de descarga deveria ser localizado a cerca de 11 km da costa. Trata-se assim, do emissário submarino mais extenso em PEAD na Europa.

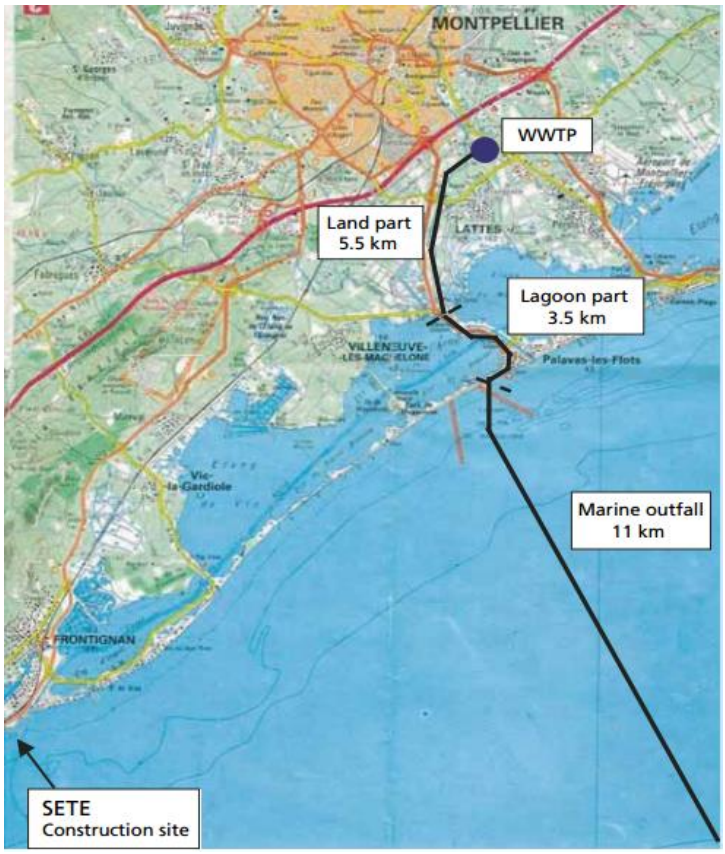



Figura 1.13 – Alinhamento de implantação do emissário submarino de Montpellier, França, *Bekendam et al., 2005*

Algumas características do projeto incluem,

- Comprimento do troço marítimo do emissário, 10800 m;

- Profundidade máxima, 30 m;

- Comprimento do difusor, 400 m;

- Número de porta de descarga (dotadas de válvulas do tipo *Duckbill),* 78;

- Capacidade máxima de descarga, 4 $m^3/s$ ;

Figura 1.14 – Trechos de emissário com comprimentos até 550 m a aguardar reboque até ao local de implantação, *Bekendam et al, 2005*

Para além dos tradicionais anéis de contrapeso de betão, em que no caso do emissário submarino de Montpellier foram utilizados cerca de 5000 anéis com cerca de 3 toneladas cada, foram também utilizados colchões de proteção de betão por forma a aumentar a estabilidade do emissário submarino, Figuras 1.15 e 1.16. Cada colchão pesa cerca de 7 toneladas e foram utilizados 3300 colchões de proteção de betão.

Figura 1.15 – Colocação de um colchão de proteção sobre o emissário submarino de Montpellier, França, *Bekendam et al., 2005*

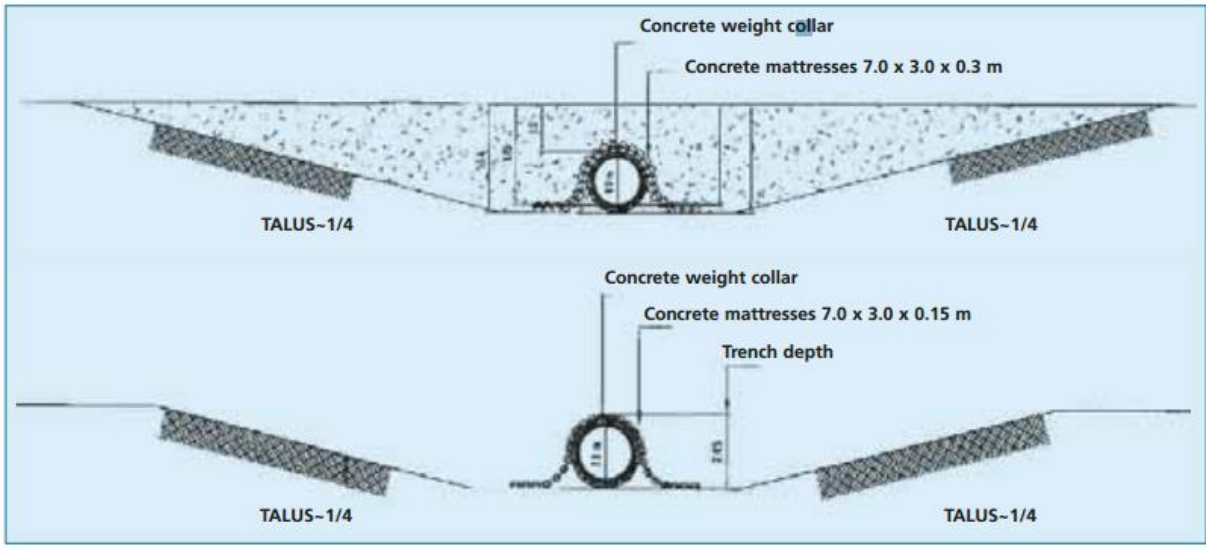



Figura 1.16 – Esquema de uma secção transversal do emissário submarino de Montpellier, França, *Bekendam et al., 2005*

### 1.6.3. Emissário Submarino de Boston, Estados Unido da América

O emissário submarino de Boston, EUA, trata-se de um dos emissários submarinos de maior diâmetro do mundo, com cerca de 7.39 m de diâmetro interno e cerca de 15 125 m de extensão total, incluindo emissário e sistema difusor (*Grace, 2009).* O emissário submarino de Boston, terminado em 1999, foi dimensionado para descarregar cerca um caudal médio diário de cerca de 57 $m^3/s$.

Figura 1.17 – Vista interior do emissário submarino de Boston, EUA, *Currier Survey Inc 1993*

O emissário submarino de Boston foi escavado sobre o fundo marítimo rochoso da baía de Massachusetts, EUA e possui uma configuração do tipo apresentado nas figuras 1.19 e 1.20. Algumas das características do projeto consistem em,

- Poço vertical a montante com cerca de 9.15 m de diâmetro e 122 m de altura;

- Emissário submarino com cerca de 7.39 m de diâmetro e 13 200 m de extensão;

- Difusor com cerca de 2012 m de extensão, dotado de 55 *risers* com cerca de 0.76 m de diâmetro e cerca de 76 m de comprimento;

- Acoplado sistema de portas múltiplas radial na extremidade de cada *riser*, num total de 8 portas/*riser*, Figura 1.18;

Figura 1.18 – Esquema de um sistema de portas múltiplas radial,
*Massachusetts Water Resources Authority*

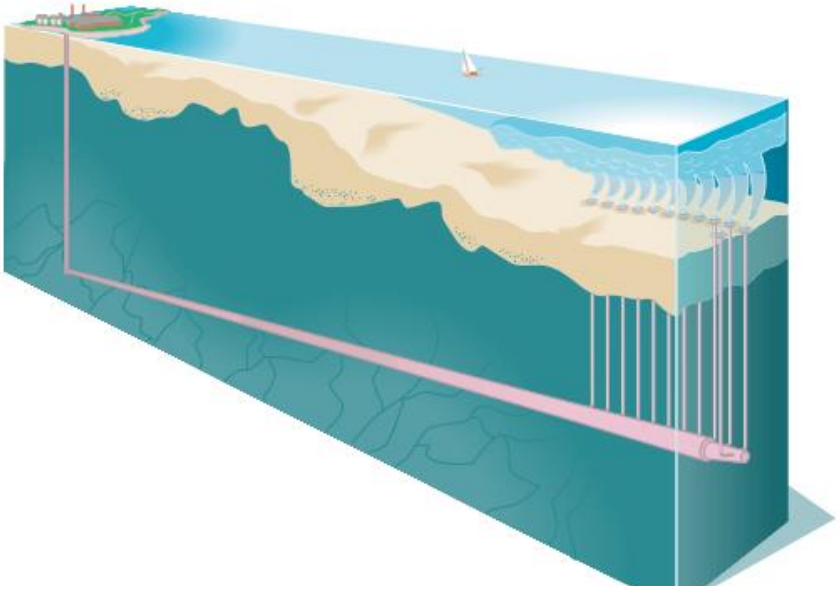


Figura 1.19 – Esquema 3D do emissário submarino de Boston, EUA.
*Massachusetts Water Resources Authority*

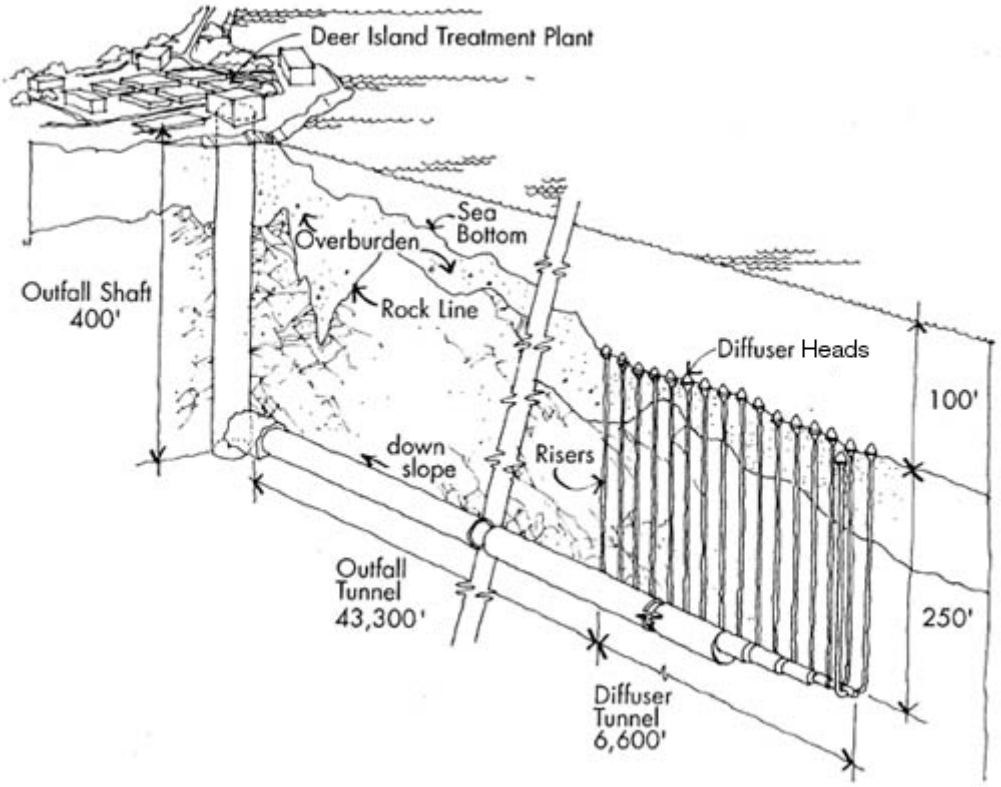



Figura 1.20 – Características geométricas do emissário submarino de Boston, EUA. Unidades em pés, *Massachusetts Water Resources Authority.*


Figura 1.21 – Tuneladora responsável pelas escavações do emissário submarino de Boston, EUA, *The Robbins Company*

# 2
# DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

## 2.1. ASPETOS GERAIS

O dimensionamento hidráulico de um emissário submarino é determinante, não só para definir as características geométricas dos vários elementos do emissário, mas também para validar a localização adotada para o mesmo. Uma vez definida uma solução global para o sistema, será possível estimar qual a concentração espectável dos diversos parâmetros microbiológicos junto às zonas balneares mais críticas nas imediações do emissário e verificar o seu enquadramento dentro das especificações regulamentares aplicáveis.

O processo de dimensionamento hidráulico está, no entanto, dependente de um vasto conjunto de dados que deverá ser recolhido em fase prévia, figura 2.1.

Características físicas do sistema:

- Rugosidade interna das condutas;
- Distância do ponto de descarga em relação linha de costa à costa (hipótese);
- Profundidade de descarga (hipótese);
- Velocidades máximas de escoamento especificadas pelo fabricante da conduta;
- Velocidades mínimas de escoamento (Critério de não sedimentação ou critério de auto limpeza);

Parâmetros hidráulicos:

- Caudal de projeto;
- Correntes marítimas ou mapa de correntes;
- Batimetria;
- Estudo de marés;
- Peso volúmico do efluente;
- Perfil de salinidade / peso volúmico da coluna de água marítima;

Parâmetros microbiológicos:

- Imposições legais de concentrações microbiológicas junto à linha de costa (Critério de balneabilidade)
- Parâmetros microbiológicos e outras cargas poluentes após tratamento em ETAR;
- Estudo de mortalidade natural de bactérias coliformes no ambiente marítimo em estudo e obtenção do parâmetro $T_{90}$ ("*Die-off Rate*")

Figura 2.1. Dados gerais para dimensionamento hidráulico de um emissário submarino.

## 2.2. FENÓMENO DE AUTODEPURAÇÃO

O fenómeno global de autodepuração conduz a uma redução linear da concentração dos vários agentes poluentes desde o momento da sua descarga até à sua chegada à costa. Tal como esquematizado na figura 2.2, o processo global de autodepuração pode ser analisado através do estudo de três fenómenos básicos, nomeadamente, a diluição inicial, a dispersão horizontal e a inativação bacteriológica.

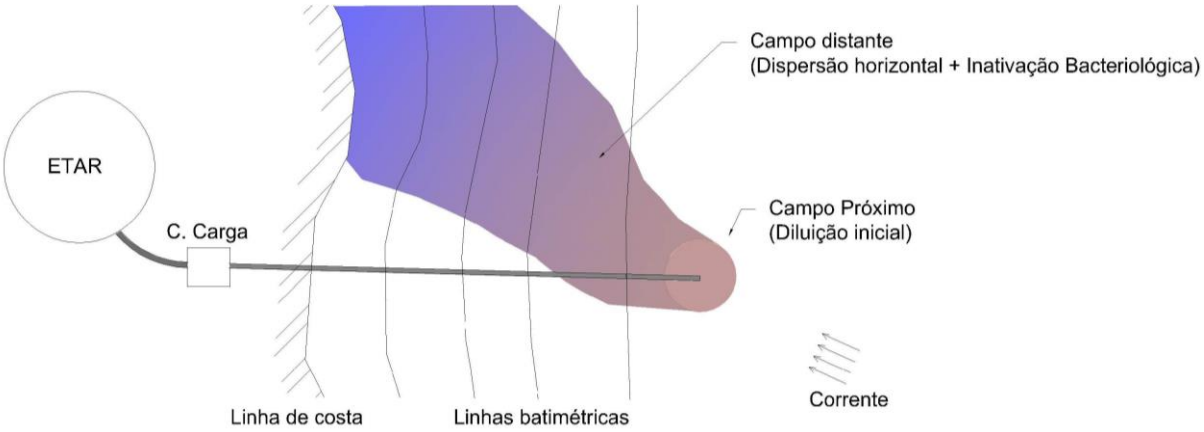



Figura 2.2 – Esquema representativo dos fenómenos de diluição inicial, dispersão horizontal e inativação bacteriológica

### 2.2.1. DILUIÇÃO INICIAL

O método de cálculo adotado para a determinação da diluição inicial segue a metodologia estabelecida por Xiaodong *et al*. (2004) através de estudos de análise dimensional e experiências laboratoriais. Estes autores estabelecem quatro cenários possíveis para os quais definem expressões de cálculo para determinação, quer da diluição inicial, quer das características geométricas da pluma resultante das descargas.

O conceito de diluição inicial baseia-se no princípio básico de que, quanto mais turbulentas forem as condições de interação entre os jatos descarregados e a massa de água adjacente, melhor será a mistura entre ambos e consequentemente menor será a concentração de poluentes resultante. Nesta fase, a concentração de poluentes diminui exclusivamente por aumento da massa de água envolvida e sem diminuição do número global de partículas poluentes. É, no entanto, um dos principais fenómenos que justificam os bons resultados obtidos pela utilização de emissários submarinos já que, frequentemente, se atingem valores de diluição inicial da ordem de 100 a 1000.

Note-se que, obter uma diluição inicial de 1000, corresponde a uma redução imediata da concentração de um qualquer poluente na massa liquida por um fator de $1/1000$!

**Cenário 1 - Oceano não estratificado com ausência de correntes ambientais**

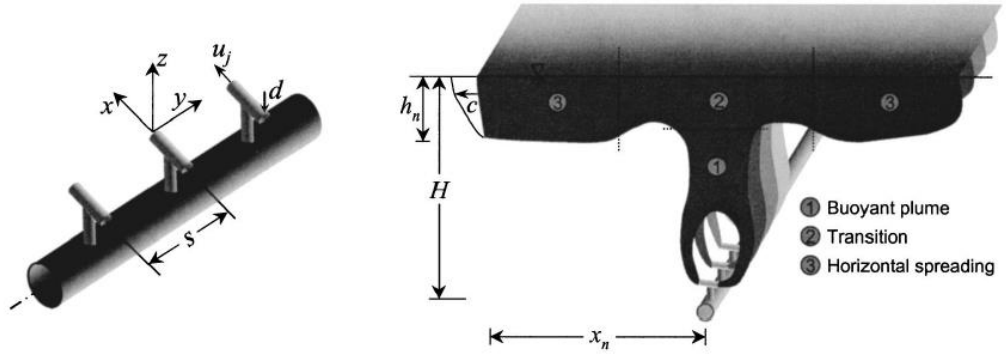



Figura 2.3 – Cenário 1 – Oceano não estratificado com ausência de correntes ambientais (*Xiaodong et al.,2004*)

Nas condições do cenário 1, em que não existe corrente ambiental (ou a sua velocidade é desprezável), Xiaodong *et al*. (2004) define duas situações distintas.

Para $\boldsymbol{s/H < 1}$, existe interação entre jatos podendo-se considerar a descarga ao longo do difusor como uma descarga contínua. A diluição inicial deverá ser calculada como:

$$D_i = \frac{0.49 \cdot H \cdot b^{\frac{1}{3}}}{q} \tag{2.1}$$

$$q = \frac{Q_T}{L_D} \tag{2.2}$$

$$b = g_0' \cdot q \tag{2.3}$$

$$g_0' = g \cdot \frac{\rho_a - \rho_0}{\rho_a} \tag{2.4}$$

As características geométricas da pluma, caracterizadas na figura 2.3, são dadas por:

$$x_n = 0.9 \cdot H \quad [m] \tag{2.5}$$

$$h_n = 0.36 \cdot H \quad [m] \tag{2.6}$$

em que $D_i$ [−] representa a diluição inicial, $H$ $[m]$ a profundidade da descarga, q $[m^2/s]$ o caudal por unidade de comprimento do difusor, $Q_T$ $[m^3/s]$ o caudal total descarregado, $L_D$ $[m]$ o comprimento total do difusor, $b$ $[m^3/s^3]$ a impulsão da massa específica, $g_0'$ $[m/s^2]$ a gravidade reduzida, $\rho_a$ $[kg/m^3]$ a massa volúmica da água do mar, $\rho_0$ $[kg/m^3]$ a massa volúmico da água residual descarregada e $g$ $[m/s^2]$ a aceleração da gravidade.

Para $\boldsymbol{s/H > 1}$, não existe interação entre jatos e estes deverão ser analisados de forma independente. A diluição inicial deverá ser calculada como:

$$D_i = \frac{0.26 \cdot b^{\frac{1}{3}} \cdot H^{\frac{5}{3}}}{Q_j} \tag{2.7}$$

$$b = g_0' \cdot Q_j \tag{2.8}$$

$$x_n = 2.8 \cdot H \tag{2.9}$$

$$h_n = 0.11 \cdot H \tag{2.10}$$

em que $b$ $[m^3/s^3]$ representa a impulsão da massa específica e $Q_j$ $[m^3/s]$ o caudal individual do jato *"j"*.

**Cenário 2 – Oceano não estratificado na presença de correntes ambientais**

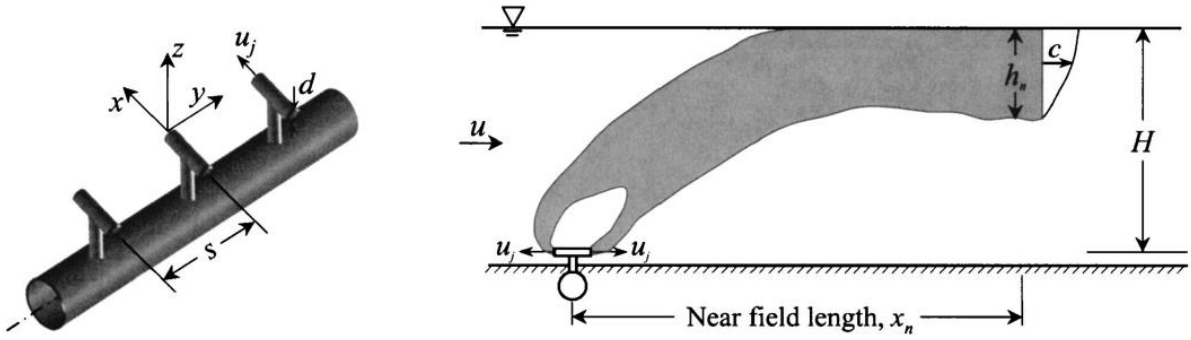



Figura 2.4 – Cenário 2: Oceano não estratificado na presença de correntes ambientais *(Xiaodong et al.,2004)*

A presença de correntes oceânicas auxilia o processo de diluição inicial e traduz-se, face ao verificado nos restantes cenários, no mais favorável desse ponto de vista. Quanto maior a intensidade da corrente maior o grau de diluição inicial conseguido. A intensidade das correntes pode ser avaliada recorrendo ao número de Froude:

$$Fr = \frac{u^3}{b} \tag{2.11}$$

em que $u\ [m/s]$ representa a velocidade do escoamento em torno do difusor provocado pela corrente marítima.

A análise da diluição inicial nas condições do cenário 2, apresentado por Xiaodong *et al.(*2004), resulta em quatro situações distintas, esquematizadas na figura 2.5. Para cada situação, os autores definem a respetiva expressão de cálculo apropriada para a diluição inicial e para as características geométricas da pluma de descarga.

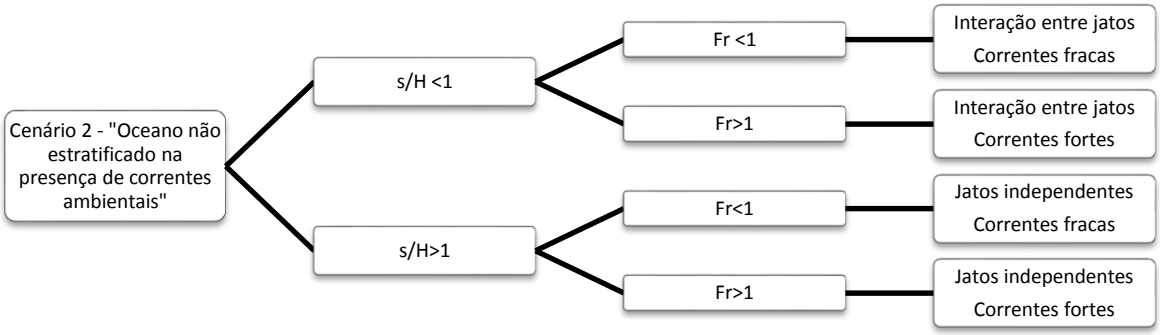



Figura 2.5 – Possíveis situações de cálculo da diluição inicial no âmbito do cenário 2 estabelecido por Xiaodong (2004)

Para **s/H <1** e **Fr <1,** correspondente à existência de interação entre jatos na presença de correntes ambientais fracas, os autores definem:

$$D_i = \frac{0.6 \cdot u \cdot H}{q} \tag{2.12}$$

$$x_n = 0.9 \cdot H \tag{2.13}$$

$$h_n = 0.36 \cdot H \tag{2.14}$$

Para **s/H <1** e **Fr> 1,** correspondente à existência de interação entre jatos na presença de correntes ambientais fortes:

$$D_i = \frac{0.49 \cdot Fr^{\frac{1}{3}} \cdot u \cdot H}{q} \tag{2.15}$$

$$x_n = 2.5 \cdot Fr^{\frac{1}{3}} \cdot H \tag{2.16}$$

$$h_n = 0.65 \cdot Fr^{\frac{1}{3}} \cdot H \tag{2.17}$$

Para **s/H> 1** e **Fr <1,** correspondente a uma situação de não interação entre jatos, na presença de correntes ambientais fracas, a diluição inicial deverá ser calculada jato a jato do seguinte modo:

$$D_i = \frac{0.26 \cdot H^{\frac{5}{3}} \cdot B^{\frac{1}{3}}}{Q_j} \tag{2.18}$$

$$x_n = 2.8 \cdot H \tag{2.19}$$

$$h_n = 0.11 \cdot H \tag{2.20}$$

Para **s/H> 1** e **Fr> 1,** correspondente a uma situação de não interação entre jatos, na presença de correntes ambientais fortes, a diluição inicial deverá, novamente, ser calculada jato a jato como sendo:

$$D_i = \frac{0.32 \cdot u \cdot H^2}{Q_j} \tag{2.21}$$

$$x_n = 5.2 \cdot Fr^{\frac{1}{3}} \cdot H \tag{2.22}$$

$$h_n = 0.3 \cdot Fr^{\frac{1}{3}} \cdot H \tag{2.23}$$

**Cenário 3 – Oceano estratificado com ausência de correntes oceânicas**

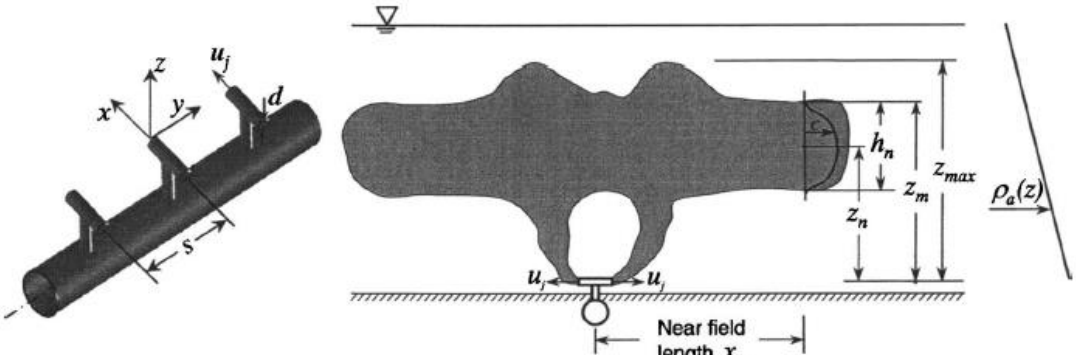



Figura 2.6 - Cenário 3: Oceano estratificado com ausência de correntes ambientais
*(Xiaodong et al., 2004)*

A estratificação oceânica, caracterizada por uma variação expressiva do peso volúmico da água do mar ao longo da coluna de água pode ocorrer por diversos motivos. Em locais onde existe grande intensidade de radiação solar, a camada superficial da coluna de água atinge temperaturas mais elevadas, intensificando-se os fenómenos de evaporação e consequentemente o grau de salinidade aumenta nessa camada. Em zonas de foz ou locais estuarinos é também frequente verificarem-se fenómenos de estratificação resultantes da mistura de água salgada com água doce. Assim sendo, a pluma descarregada pelo emissário submarino pode ficar confinada, não atingindo a superfície. Tal fenómeno terá, naturalmente, impactos ao nível da diluição inicial, já que altera, por exemplo, o volume de água envolvido no processo. Em águas estratificadas, em que a pluma descarregada não atinge a superfície, verifica-se uma menor mortalidade natural de bactérias coliformes, consequência de uma menor exposição à luminosidade solar. Verifica-se que a intensidade luminosa, a que estas bactérias estão expostas, tem uma influência positiva no processo de inativação bacteriológico.

Xiaodong *et al.*(2004) define que, quando na presença de estratificação linear caracterizada por uma taxa de variação da massa volúmica do tipo $\delta\rho_a/\delta Z$, deverá começar-se por determinar o parâmetro N, denominado por frequência de Brunt–Väisälä, dado por:

$$N = \sqrt{-\frac{g}{\rho_a} \cdot (\frac{\delta\rho_a}{\delta Z})} \tag{2.24}$$

Pode de seguida calcular-se a diluição inicial, bem como as características geométricas da pluma, tendo em conta a relação entre o espaçamento dos jatos e o parâmetro $l_b$ $[m]$ dado por:

$$l_b = \frac{b^{\frac{1}{3}}}{N} \tag{2.25}$$

Assim, para $\boldsymbol{s/l_b < 1}$**,** existe interação entre jatos e deverá considerar-se uma descarga contínua ao longo do difusor. Tem-se que:

(2.26)

$$D_i = 0.86 \cdot \frac{b^{\frac{2}{3}}}{q * N}$$

$$x_n = 2.3 \cdot l_b \tag{2.27}$$

$$h_n = 1.5 \cdot l_b \tag{2.28}$$

$$z_{máx} = 3.2 \cdot l_b \tag{2.29}$$

em que $z_{máx}$ $[m]$ representa a altura máxima atingida pela pluma no campo próximo.

Para $\boldsymbol{s/l_b} > \mathbf{1}$**,** não existe interação entre jatos adjacentes e a diluição inicial deverá ser calculada jato a jato, como sendo:

$$D_i = 0.90 \cdot \frac{B^{\frac{3}{4}}}{Q_j \cdot N^{\frac{5}{4}}} \tag{2.30}$$

$$x_n = 4.1 \cdot l_b \tag{2.31}$$

$$h_n = 1.6 \cdot l_b \tag{2.32}$$

$$z_{máx} = 4.1 \cdot l_b \tag{2.33}$$

**Cenário 4 – Oceano estratificado na presença de correntes ambientais**

O último cenário traçado por Xiaodong *et al.* (2004), Figura 2.7, conjuga a estratificação oceânica com a presença de correntes ambientais. Tal como no cenário dois, existem quatro situações distintas que podem ocorrer nessas condições, tal como esquematizado na figura 2.8. Resultam da combinação entre ausência ou presença de correntes fortes e interação entre jatos. Xiaodong admite, no entanto, que na presença de correntes fracas, o comportamento da pluma bem como o grau de diluição inicial atingido é em tudo semelhante ao traçado no cenário três, respeitante à ausência de correntes ambientais, pelo que basta definir, no âmbito do cenário quatro, as situações em que o número de Froude é superior a

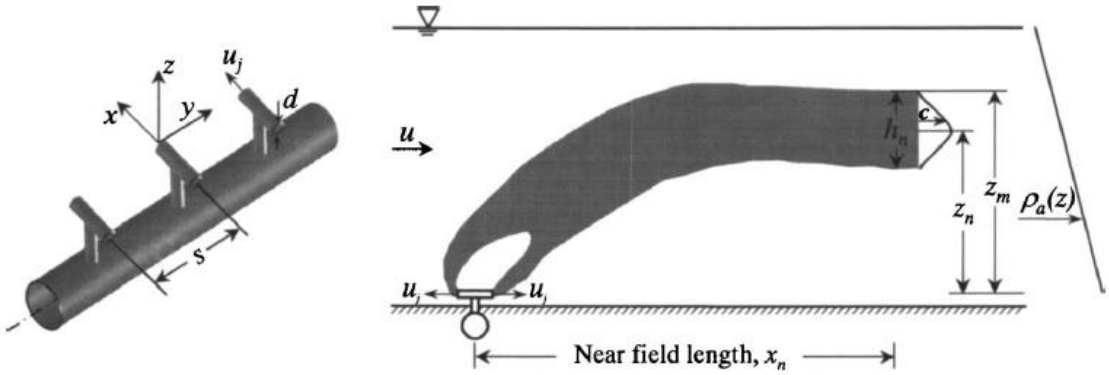



Figura 2.7 - Cenário 4: Oceano estratificado com presença de correntes ambientais *(Xiaodong et al., 2004)*

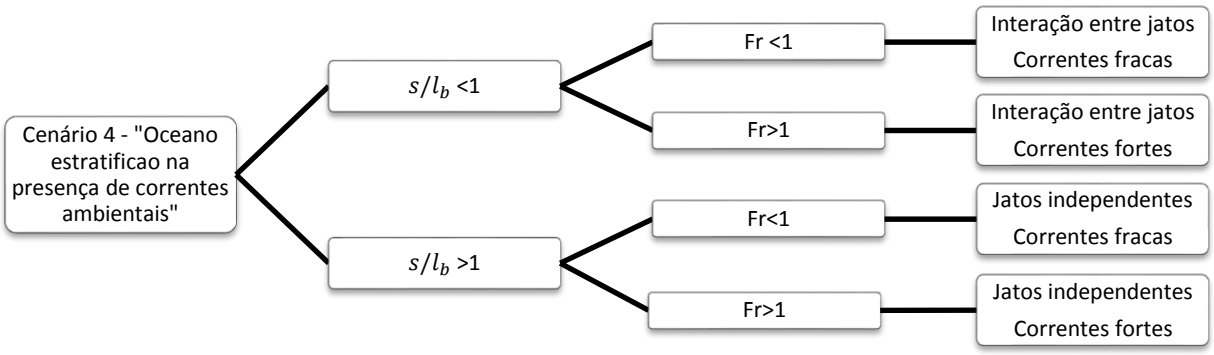



Figura 2.8 - Possíveis situações de cálculo da diluição inicial no âmbito do cenário 4 estabelecido por Xiaodong *et al.* (2004)

um.

Assim, para $\boldsymbol{Fr > 1}$ e $\boldsymbol{s/l_b < 1}$, em que existe interação entre jatos e as correntes são fortes, a diluição inicial deverá ser calculada como:

$$D_i = 1.23 \cdot \frac{Fr^{\frac{1}{3}} \cdot b^{\frac{2}{3}}}{q \cdot N} \tag{2.34}$$

(2.35)

$$x_n = 8 \cdot Fr^{\frac{1}{3}} \cdot l_b$$

$$z_{máx} = 2.4 \cdot Fr^{-\frac{1}{6}} \cdot l_b \tag{2.36}$$

Para $\boldsymbol{Fr > 1}$ e $\boldsymbol{s/l_b > 1}$, em que as correntes ambientais são fortes e não existe interação entre jatos, a diluição inicial deverá ser estudada individualmente para cada jato:

$$D_i = 1.3 \cdot \frac{u^{\frac{1}{3}} \cdot B^{\frac{2}{3}}}{Q_j \cdot N^{\frac{4}{3}}} \tag{2.37}$$

$$x_n = 12 \cdot \frac{u}{N} \tag{2.38}$$

$$z_{máx} = 2.9 \cdot \left(\frac{l_a}{l_s}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot l_s \tag{2.39}$$

$$l_s = \frac{B}{u^3} \tag{2.40}$$

$$l_a = \frac{u}{N} \tag{2.41}$$

### 2.2.2. Dispersão horizontal. Modelo de Brooks (1960)

Uma vez definidas as propriedades do campo próximo, dependentes essencialmente da interação entre os jatos descarregados e as propriedades locais do meio envolvente, poderá ser estudado o fenómeno de

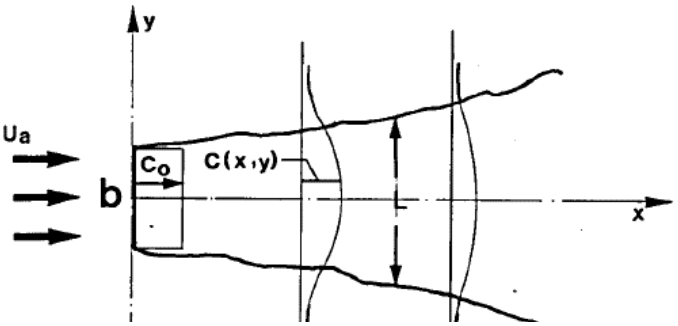



Figura 2.9 – Esquema representativo da pluma de águas residuais de acordo com o modelo de dispersão horizontal de Brooks (1960)

dispersão horizontal. Tal como previamente, toda a carga poluente da pluma será encarada como conservativa, isto é, não serão considerados quaisquer fenómenos de degradação ao longo do tempo. A concentração do poluente é apenas diminuída por diluição com uma massa de água cada vez maior. Os fenómenos de degradação natural dos organismos microbiológicos serão apenas considerados através do fenómeno de inativação biológica em fase posterior.

De acordo com o modelo de Brooks (1960), à medida que a pluma descarregada é arrastada pela corrente, irá obter-se um grau de diluição da carga poluente dado por,

$$D_h = \frac{1}{ERF\left(\sqrt{\frac{\frac{3}{2}}{\left(\frac{L}{b}\right)^2 - 1}}\right)} \tag{2.42}$$

A relação $L/b$, designada por largura relativa da pluma, poderá ser calculada por,

$$\frac{L}{b} = \left(1 + 2 \cdot \beta \cdot \frac{x}{b}\right)^{\frac{1}{2}} \tag{2.43}$$

Brooks define o parâmetro $\beta$ como:

$$\beta = 12 \cdot \frac{\epsilon_o}{U_a \cdot b} \tag{2.44}$$

Com:

$$\epsilon_0 = 4.53 \cdot 10^{-4} \cdot b^{\frac{4}{3}} \tag{2.45}$$

A função ERF( ), denominada por função erro, tem originalmente a forma,

$$\mathrm{ERF}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^x e^{-t^2}\, dt \tag{2.46}$$

Mas poderá ser calculada, por simplificação, utilizando a série de Taylor, do seguinte modo,

(2.47)

$$\mathrm{ERF}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot (x - \frac{x^3}{3} + \frac{1}{2!} * \frac{x^5}{5} - \frac{1}{3!} * \frac{x^7}{7})$$

em que, $x$ $[m]$ representa a distância ao ponto de descarga, $L$ $[m]$ a largura da pluma a uma distância $x$ do ponto de descarga, $b$ $[m]$ a projeção da largura inicial da pluma na perpendicular à direção da corrente dominante, $U_a$ $[m/s]$ a velocidade da corrente na direção predominante e $D_h$ $[-]$ o fator de dispersão horizontal.

### 2.2.3. Inativação bacteriológica

Tal como foi já referido, os parâmetros de diluição inicial e dispersão horizontal, consideram o poluente descarregado como sendo do tipo conservativo. No entanto, os organismos microbiológicos presentes nas águas residuais, nomeadamente os coliformes fecais, não apresentam esse tipo de comportamento. A partir do momento em que entram em contacto com a água do mar inicia-se um processo de mortalidade natural dessas bactérias que poderá ser de maior ou menor intensidade dependendo das características físicas da água marítima. Usualmente, para caracterizar a taxa de degradação de um poluente não-conservativo, do tipo bacteriológico, num dado meio ambiente, utiliza-se o parâmetro designado por "*die-off rate*", $T_{90}$. O parâmetro $T_{90}$, define-se pelo tempo, em horas, necessário para que se verifique uma redução de 90% da população inicial de bactérias e depende, quer do tipo de bactérias em análise, quer das características físicas do meio onde se pretende estudar tal fenómeno.

No caso concreto da descarga de águas residuais no oceano, terá interesse estudar a mortalidade das bactérias coliformes em meio marinho e diversos estudos apontam, como fatores determinantes, a temperatura, salinidade e luminosidade. O parâmetro $T_{90}$, deverá ser estudado experimentalmente para cada caso concreto. Apresentam-se, no entanto, na tabela 2.1, alguns valores de referência de $T_{90}$, em diversas localizações geográficas.

| Local | $T_{90}$ (horas) |
|---|---|
| Honolulu (Hawaii) | 0,75 ou menos |
| Mayagues Bay (Porto Rico) | 0,7 |
| Rio de Janeiro (Brasil) | 1,0 |
| Nice (França) | 1,1 |
| Accra (Ghana) | 1,3 |
| Montevidéo (Uruguai) | 1,5 |
| Santos (Brasil) | 0,8 a 1,7 |
| Fortaleza (Brasil) | 1,3 |
| Maceió (Brasil) | 1,35 |

Tabela 2.1 – Valores de referência do parâmetro $T_{90}$, Ludwig (1988)

Poderá então definir-se que o fator de redução de um poluente não conservativo pelo fenómeno de inativação bacteriológica é dado por:

$$D_b = 10^{\frac{t}{T_{90}}} \tag{2.48}$$

Com:

$$t = \frac{x}{U_x} \tag{2.49}$$

em que $t$ $[h]$ representa tempo necessário para que a pluma descarregada atinga a costa, $T_{90}$ $[h]$ o tempo necessário para que se verifique uma redução de 90% da população total de bactérias, $x$ $[m]$ a distância entre o ponto de descarga e a costa, $U_x$ $[m]$ a componente do vetor velocidade projetado perpendicularmente à costa e $D_b$ $[-]$ o fator de inativação bacteriológica.

### 2.2.4. Redução global da carga poluente.

Uma vez definidos os três fatores, que governam os principais fenómenos que contribuem para a redução da concentração da carga poluente de uma dada descarga, poderá calcular-se a concentração global desses poluentes junto à costa como sendo:

$$C = C_0 \cdot D_i \cdot D_h \cdot D_b \quad (Poluentes\ não\ conservativos) \tag{2.50}$$

$$C = C_0 \cdot D_i \cdot D_h \qquad (Poluentes\ conservativos) \tag{2.51}$$

em que, $C$ $[coliformes/100ml]$ representa a concentração de poluente junto à costa e $C_0$ $[coliformes/100ml]$ a concentração de poluente nas águas residuais descarregadas.

### 2.2.5. Estimativa preliminar do comprimento de um emissário submarino

Tal como foi indicado, apenas o fator de dispersão horizontal e o fator de inativação bacteriológica dependem da distância entre o ponto de descarga e a zona costeira em estudo. No entanto, o efeito que essa distância tem no fenómeno de dispersão horizontal é muito reduzido. Poderá, deste modo, considerar-se $D_h$ como independente da distância à costa, facilitando-se assim o processo de estimação preliminar do comprimento do emissário submarino. Atenda-se ao seguinte exemplo.

Considere-se um difusor que proporciona, em função das condições locais de escoamento marítimo, um grau de diluição inicial de 500 e admita-se um grau de dispersão horizontal da ordem de 1.2. Se a concentração de coliformes no volume de descarga for de $1.12 \cdot 10^7$ ufc/100 ml, então, para se obter uma concentração de coliformes de 100 ufc/100ml junto à costa, o comprimento do emissário submarino deverá ser estudado do seguinte modo:

$$1.12 \cdot 10^7 = 100 \cdot 200 \cdot 1 \cdot D_b \iff D_b = 112$$

Assim, para um "*die-off rate*", $T_{90} = 1.5\ h$, e uma velocidade de corrente em direção à costa da ordem de $0.2\ m/s$, então, o emissário submarino deverá ter um comprimento mínimo de:

$$112 = 10^{\frac{t}{1.5}} \Leftrightarrow t = log(112) \cdot 1.5 \Leftrightarrow t \approx 3.1\ horas$$

$$t = \frac{L}{U_x} \Leftrightarrow 3.1 \cdot 3600 = \frac{L}{0.2} \Leftrightarrow L \approx 2150\ m$$

O emissário deverá ter um comprimento da ordem dos 2150 m para que a qualidade das águas balneares, afetadas pelas descargas por si realizadas, permaneça "*excelente*" de acordo com os limites estabelecidos pela Diretiva 2006/6/CE, do Parlamento Europeu.

O valor adotado para a concentração inicial de coliformes no exemplo apresentado não foi arbitrário. Uma concentração de $1{,}12 \cdot 10^7\ [ufc/100ml]$, corresponde à capacidade nominal de tratamento proporcionada pela ETAR de Sobreiras no Porto, por exemplo. Assim, um emissário com as condições acima especificadas e com cerca de 2 km de comprimento conseguirá, um nível de tratamento semelhante ao obtido pela referida ETAR.

Outro aspeto que merece reflexão no exemplo apresentado é o grau de diluição inicial utilizado. A utilização de um difusor um pouco mais complexo (com possíveis desvantagens hidráulicas), que conduzisse a um grau de diluição inicial da ordem de 2500, traduzir-se-ia em:

$$D_i = 2500\ [-]$$

$$D_b = \frac{1.12 \cdot 10^7}{100 \cdot 2500 \cdot 1.00} = 22.4\ [-]$$

$$t = \log(22.4) \cdot 1.5 \approx 2.05\ [\text{horas}]$$

$$L = 2.05 \cdot 3600 \cdot 0.2\ \leftrightarrow L = 1460\ [m]$$

Traduz-se numa redução de praticamente 700 m de emissário e consequentemente uma redução muito significativa no custo global da obra.

O caso apresentado é meramente exemplificativo e tem como principal objetivo demonstrar a importância que o grau de diluição proporcionado pelo difusor tem no comprimento do emissário. Serve também para demonstrar o nível de eficiência que o fenómeno de autodepuração oceânica tem na eliminação de coliformes fecais, demonstrando-se que, um emissário com cerca de 2 km consegue reproduzir, para as características da corrente considerada, o grau de tratamento para essas bactérias comparável com os de uma ETAR de referência na cidade do Porto. Naturalmente, tal raciocínio é apenas válido do ponto de vista microbiológico e a utilização de emissários submarinos não substitui o imprescindível tratamento que ocorre na ETAR. Como consequência do tratamento realizado em fase prévia à descarga do efluente no mar, a concentração de coliformes no volume descarregado será manifestamente inferior à exemplificada, resultando em emissários substancialmente mais curtos. Também a batimetria e a agitação local terão grande influência no comprimento de um emissário submarino. Em locais geograficamente muito íngremes, rapidamente se atingem profundidades elevadas, extremamente benéficas do ponto de vista da diluição. Cada caso deverá ser analisado individualmente e deverão ser estabelecidos os cenários mais desfavoráveis do ponto de vista ambiental

para determinação laboratorial do parâmetro $T_{90}$. O verão corresponde ao período de maior utilização recreativa das praias, sendo por isso o mais preocupante desse ponto de vista. No entanto, do ponto de vista de inativação bacteriológica, no período de Verão verifica-se um aumento da temperatura média da água do mar e uma maior intensidade e período de exposição solar, ambos extremamente favoráveis para a redução de $T_{90}$.

## 2.3. INTRUSÃO SALINA

O fenómeno de intrusão salina é especialmente nefasto do ponto de vista hidráulico para o funcionamento do difusor de um emissário submarino e poderá ocorrer a dois níveis. Durante o período de descarga, em pleno funcionamento da estrutura, quando a velocidade atingida pelos jatos descarregados em cada *riser* for insuficiente, poderá assistir-se a fenómenos de intrusão semelhantes aos representados na figura 2.10.

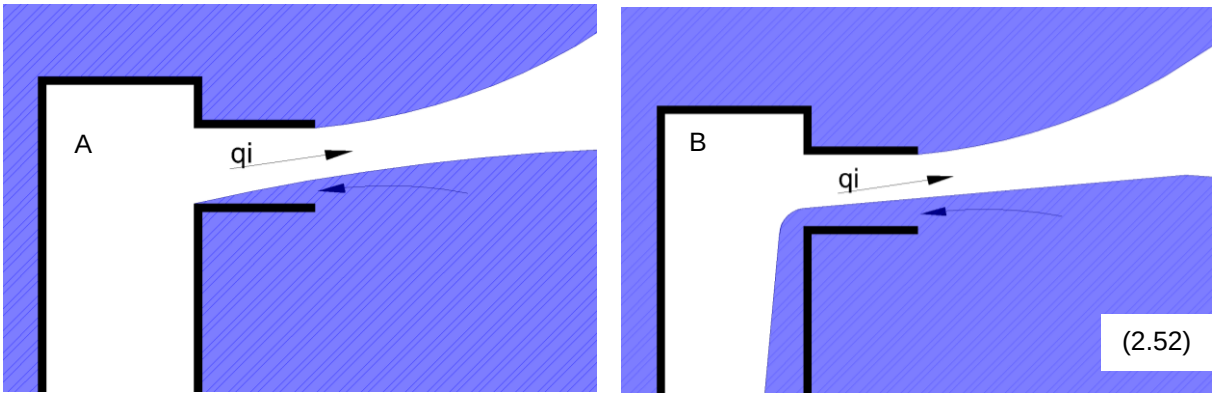



Figura 2.10 – Esquema representativo do fenómeno de intrusão salina. A - Intrusão salina primária, B - Intrusão salina secundária.

Tal como se pode observar nessa figura, em ambos os casos se assiste a uma diminuição da secção de escoamento resultando num comportamento global do difusor diferente do pretendido. O caso representado na figura 2.10 B, corresponde à ocorrência de intrusão salina secundária com a consequente invasão de água do mar para o interior do difusor. É uma situação altamente indesejável uma vez que resultará, por um lado, na entrada de sedimentos para o interior do difusor com as previsíveis consequências que daí advêm e por outro propiciará a colonização do difusor por vida marinha resultando numa redução muito significativa da secção útil do difusor, aumento das perdas de carga e destabilizando o equilíbrio hidráulico definido em projeto. O fenómeno de intrusão salina deverá assim ser controlado, em fase de projeto, impondo uma velocidade de descarga adequada, controlável através do número de Froude densimétrico dado por:

$$Fr_d = \frac{U_{jato_i}}{\sqrt{\frac{\gamma_{mar} - \gamma_{esgoto}}{\gamma_{esgoto}} \cdot g \cdot d_{port\ i}}}$$

em que $U_{jato\,i}$ $[m/s]$ representa a velocidade de escoamento na secção de saída da porta i, $\gamma_{mar}$ $[kN/m^3]$ o peso volúmico da água do mar, $\gamma_{esgoto}$ $[kN/m^3]$ o peso volúmico das águas residuais descarregadas, $g$ $[m/s^2]$ a aceleração gravítica e $d_{port_i}$ o diâmetro da porta *i*.

Teoricamente, para um número de Froude densimétrico superior a 1,00 não deverão ocorrer fenómenos de intrusão salina, embora seja usual exigir-se que Fr> 2.00, garantindo assim uma margem de segurança mais confortável. Tal como se compreenderá pela análise dos casos de aplicação do capítulo 4, é usual obterem-se números de Froude relativamente altos quando comparados com a recomendação acima mencionada.

O principal problema relacionado com o fenómeno de intrusão salina surge em estruturas de funcionamento do tipo intermitente. Quando o volume diário de águas residuais a descarregar for reduzido torna-se impossível garantir uma descarga contínua que garanta o cumprimento dos requisitos de funcionamento hidráulico previamente estabelecidos, sobretudo em relação à velocidade de escoamento ao longo dos vários órgãos do sistema. A solução passa, usualmente, por adotar um sistema de funcionamento intermitente, onde se procede, após tratamento, à acumulação das águas residuais num reservatório, ou câmara de carga, até que se atinga um volume suficiente para que se realize a sua descarga em condições adequadas. Naturalmente, durante o período de acumulação, o emissário submarino verá o seu funcionamento suspenso e o seu interior preenchido por água do mar.

Da análise da figura 2.11, poderá compreender-se a dimensão das incrustações que se formam no perímetro exterior de um *riser* e intuir-se que, em emissários de funcionamento intermitente, onde ciclicamente, ao longo dos muitos anos de funcionamento que para ele se pretendem, a água do mar irá invadir o seu interior, uma situação muito semelhante à representada deverá ocorrer no interior do difusor. Deverão ser por isso tomadas medidas preventivas, sendo a mais popular a utilização de válvulas do tipo *duckbill*.

Figura 2.11 – Colonização marinha de um emissário submarino, *Marine Photobank*

As válvulas "*duckbill*", que recebem tal nome por se inspirarem no formato do bico de um ornitorrinco, são válvulas de borracha de funcionamento autónomo cujo principal objetivo é o não-retorno de caudal. São diversos os seus campos de aplicação mas no caso dos emissários submarinos são acopladas à extremidade das portas de descarga, usualmente através de juntas dotadas de flanges. Durante os períodos de descarga, são submetidas a uma pressão interna positiva que, vencendo a rigidez natural da válvula, dão lugar à abertura de um orifício por onde se processa a descarga. Quando a descarga cessa, a pressão exterior é suficiente para que a válvula regresse ao seu formato original, impedindo a entrada de caudal para o interior do difusor, Figura 2.12 e 2.13.

Figura 2.12 – Princípio de funcionamento de uma válvula do tipo "*duckbill*" (Tideflex®)


Figura 2.13 – Diversos casos de aplicação de válvulas "*duckbill*" a difusores de emissários submarinos (Tideflex®)

As propriedades hidráulicas de uma válvula deste tipo distinguem-se das de uma conduta tradicional. A secção útil da válvula é dependente, quer do caudal descarregado em cada instante, quer da rigidez da borracha utilizada no seu fabrico. A grande vantagem deste tipo de válvulas é que o projetista poderá, em conjunto com o fabricante, definir a rigidez desejada para a válvula de modo a manipular artificialmente a secção útil que será obtida para um dado caudal. Tal aspeto é muito relevante porque permite, se necessário, controlar a velocidade do escoamento jato a jato e afinar o funcionamento hidráulico do difusor em fase de projeto. Este tipo de válvulas tem sido muito utilizado nas últimas décadas e têm comprovado ser uma medida eficiente contra o fenómeno de intrusão salina.

## 2.4. PERDAS DE CARGA

Tal como foi referido é necessário dedicar especial atenção à quantificação das perdas de carga que ocorrem no circuito hidráulico. A principal razão centra-se na definição das cotas de exploração adequadas para a câmara de carga a montante. Será também importante conhecer detalhadamente as perdas de carga localizadas que ocorrem ao longo do difusor uma vez que, posteriormente, se irá proceder ao cálculo das condições hidráulicas em cada um dos *riser* aí existentes.

### 2.4.1. PERDAS DE CARGA CONTÍNUAS

As perdas de carga contínuas numa conduta circular de comprimento L, podem ser obtidas através da expressão:

$$\Delta H_{cont} = j \cdot L \tag{2.52}$$

$$j = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{U^2}{2 \cdot g} \tag{2.53}$$

em que $j\ [m/m]$ representa a perda de carga unitária, $\lambda\ [-]$ o coeficiente de resistência, $D\ [m]$ o diâmetro da conduta, $U\ [m/s]$ a velocidade do escoamento e $g\ [m/s^2]$ a aceleração gravítica.

Em regime laminar, o coeficiente de resistência, $\lambda$, pode ser calculado pela fórmula de Poiseuille:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \tag{2.54}$$

$$Re = \frac{U \cdot D}{\nu} \tag{2.55}$$

em que $Re\ [-]$ representa o número de Reynolds e $\nu\ [m^2/s]$ o coeficiente de viscosidade cinemática.

Em regime turbulento, o coeficiente de resistência, $\lambda$, pode ser avaliado através da expressão de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log\left(\frac{\frac{k}{D}}{3.7} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}}\right) \tag{2.56}$$

Em que $k\ [mm]$ representa a rugosidade interna da conduta.

As expressões apresentadas permitem o cálculo do coeficiente de resistência na situação de escoamento laminar e escoamento turbulento, respetivamente. Existe, no entanto, a possibilidade de ocorrência de escoamentos de transição para determinados valores de $Q/D$ que deverão ser avaliadas. Tendo em conta tal possibilidade, Chue (1984) inclui no cálculo do coeficiente de resistência um fator de intermitência, $\Omega$, que toma em consideração a possibilidade de existência de escoamentos de transição ao longo de uma conduta:

$$\Omega = \frac{T_{turb}}{T} \tag{2.57}$$

$$T_{turb} = \sum(\Delta t_{turb}) \tag{2.58}$$

em que $\Omega$ [−] representa o fator de intermitência, $T_{turb}$ $[s]$ o somatório dos intervalos de tempo em que o escoamento é intermitente e $T$ $[s]$ o tempo total de observação.

Chue (1984), define que:

$$\Omega = \frac{1}{1 + e^{\frac{\overline{Re} - Re}{\sigma}}} \tag{2.59}$$

em que $\sigma$ $e$ $\overline{Re}$ são parâmetros empíricos obtidos por via experimental, e que para um escoamento exclusivamente laminar, $\sigma = 0$, ao passo que para um escoamento exclusivamente turbulento $\sigma = 1$. Os valores mais adequados de $\overline{Re}$ e $\sigma$ deverão ser obtidos experimentalmente. Neves (1986) propõe a utilização de $\overline{Re} = 2734$ e $\sigma = 90$, valores que revelaram melhor ajuste aos dados experimentais utilizados pelo autor. Neves (1986) propõe ainda a utilização de uma expressão explícita que facilita o cálculo global do coeficiente de resistência para escoamentos de transição:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log\big((1 - \Omega) \cdot a_{lam} + \Omega \cdot a_{turb}\big) \tag{2.60}$$

Com:

$$a_{lam} = 10^{-\left(\sqrt{\frac{Re}{16}}\right)} \tag{2.61}$$

$$a_{turb} = \frac{\frac{k}{D}}{3.7} - \frac{2.51}{Re} \cdot 2 \cdot \log\left(\frac{\frac{k}{D}}{3.7} + \frac{2.51}{Re} \cdot \frac{1}{0.4894 \cdot Re^{-0.011} + 0.18 \cdot Re^{0.095} \cdot \left(\frac{k}{D}\right)^{0.6}}\right) \tag{2.62}$$

### 2.4.2. Perdas de carga localizadas

A caracterização das perdas de carga localizadas será sempre alvo de controvérsia já que resulta, na maior parte dos casos, de extrapolações experimentais que variam de autor para autor. Não se pretende apresentar uma lista exaustiva de todos os coeficientes de perda de carga localizada que podem ocorrer num emissário submarino. A geometria a adotar, em particular no caso do difusor, poderá variar drasticamente de caso para caso e as consequentes perdas de carga localizadas deverão ser alvo de estudo detalhado em cada projeto. Será, no entanto, abordado o cálculo dos coeficientes de perda carga

localizadas mais comuns neste tipo de sistemas e em particular os que serão adotados no caso de estudo analisado.

A perda de carga localizada associada ao escoamento, com uma velocidade U [m/s], por uma qualquer singularidade é dada por:

$$\Delta H_{loc} = \xi \cdot \frac{\mathrm{U}^2}{2 \cdot \mathrm{g}} \tag{2.63}$$

em que $\xi$ $[-]$ representa o coeficiente de perda de carga localizada.

2.4.2.1. Transição entre a câmara de carga e o emissário.

O coeficiente de perda de carga localizada provocado por uma tomada de água de arestas vivas entre um reservatório e uma conduta circular é expressa pelo coeficiente $\xi_{cc} = 0.5$, Idelchik (1986), Figura 2.14.

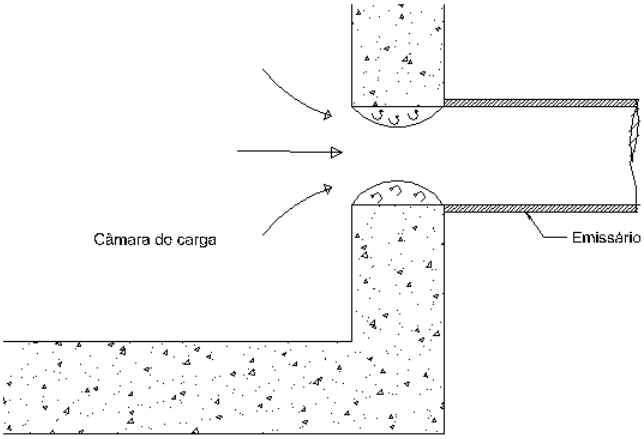



Figura 2.14 – Perda de carga localizada na transição entre câmara de carga e emissário

2.4.2.2. Mudanças de diâmetro

Num elemento em que ocorre uma redução de diâmetro do tipo esquematizado na Figura 2.15, o coeficiente de perda de carga localizada é dado por, Idelchik (1986):

$$\xi_{m.d.} = (-0.0125 \cdot \eta_0^4 + 0.0224 \cdot \eta_0^3 - 0.00723 \cdot \eta_0^2 + 0.0044 \cdot \eta_0 - 0.00745) \cdot (\beta^3 - 2 \cdot \pi \cdot \beta^2 - 10 \cdot \beta) \tag{2.64}$$

$$\eta_0 = \frac{A_0}{A_1} \tag{2.65}$$

Em que $\xi_{m.d.}\,[-]$ representa ao coeficiente de perda de carga localizada por redução de diâmetro, $\beta\,[rad]$ o ângulo de transição, $A_0\,[m^2]$ a secção da conduta após a redução de diâmetro e $A_1\,[m^2]$ a secção da conduta antes da redução de diâmetro.

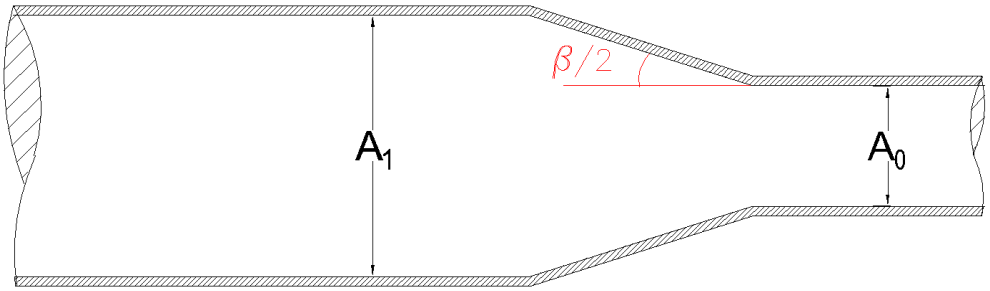



Figura 2.15 – Perda de carga localizada numa diminuição de diâmetro

2.4.2.3. Transição difusor – *riser*

Considerando que o escoamento principal se processa no sentido 1-2 de acordo com o esquema da figura 2.16, Cascaes (1991) aproxima, por regressão, as curvas desenvolvidas por Miller (1978) para determinação do coeficiente de perda de carga localizada nas seguintes condições:

$$Q' = \frac{Q_2}{Q_1} \tag{2.66}$$

1) Coeficiente de perda de carga localizada no sentido difusor – *riser* ($\xi_{12}$):

$$\xi_{12} = 0.3239 - 0.4951 \cdot Q' + 1.145 \cdot Q'^2 - 0.8927 \cdot Q'^3 + 1.3856 \cdot Q'^4 - 0.7874 \cdot Q'^5 \tag{2.67}$$

2) Coeficiente de perda de carga localizada no sentido do escoamento principal ($\xi_{13}$):

$$\xi_{13} = 0.7853 \cdot 280.10^{Q'} \tag{2.68}$$

em que $\xi_{12}$ $[-]$ *e* $\xi_{13}$ $[-]$ representam coeficientes de perda de carga localizada, $Q_1$ $[m^3/s]$ o caudal a montante da singularidade e $Q_3$ $[m^3/s]$ o caudal a jusante da singularidade.

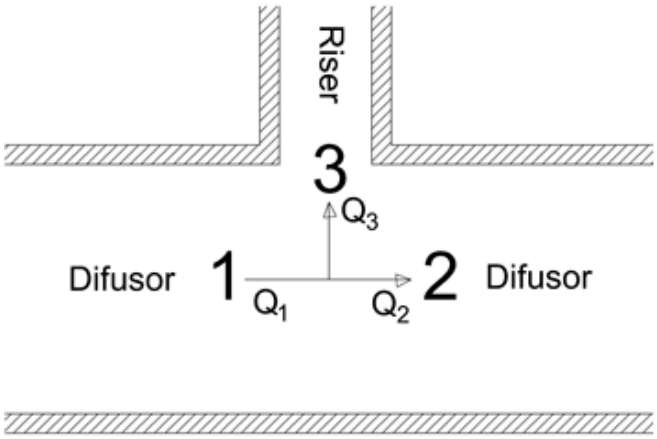



Figura 2.16 – Perdas de carga localizadas na transição difusor-*riser*

2.4.2.4. Transição *riser* – porta de descarga

A análise do ábaco da Figura 2.18 para a determinação do coeficiente de perda de carga localizadas mostra que este apenas poderá ser aplicado em situações para as quais o diâmetro da porta de descarga é o mesmo que o diâmetro do *riser*. Outros ábacos foram desenvolvidos pelos autores para situações em que $S_1 \neq S_2$. Tal como se pode observar nesse ábaco, o coeficiente de perda de carga localizado para a situação representada na figura 2.17, corresponde ao sentido de escoamento 1→2, inverso de 2→1, pelo que o coeficiente de perda de carga localizada, para esse caso, será aproximadamente $\xi_{r.p.} = 1.00$.

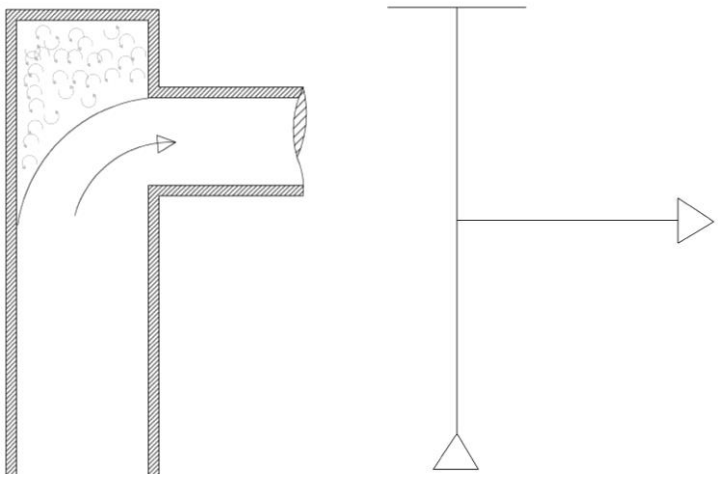


Figura 2.17 – Perda de carga localizada em transição *riser* – porta de descarga

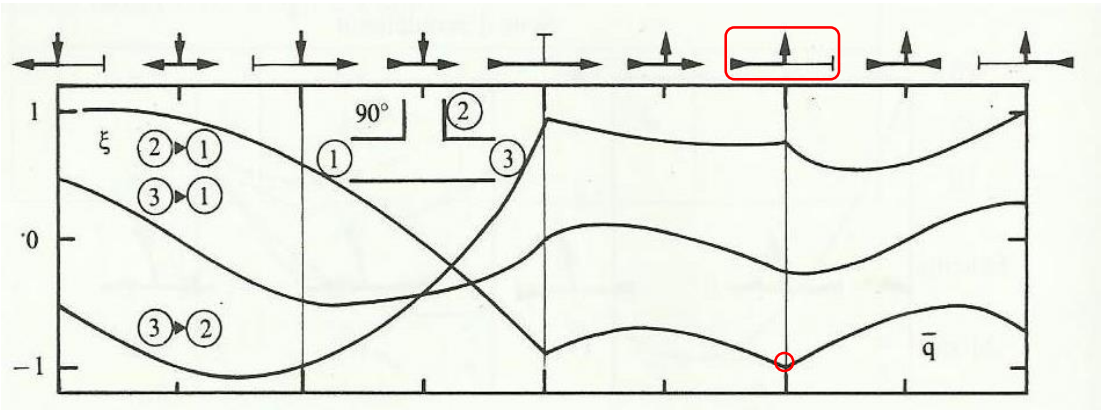



Figura 2.18 – Ábaco para determinação do coeficiente de perda de carga localizada em têes com bloqueio de escoamento num dos sentidos. (*Constructions Hydrauliques, 2009)*

#### 2.4.2.5. Válvulas do tipo "*duckbill*"

Lee (1998) define para um conjunto de modelos comerciais de referência de válvulas *duckbill* da empresa *Tideflex*® expressões para o cálculo, quer das perdas de carga localizadas, quer da velocidade de escoamento dos jatos de descarga, quando na presença dessas válvulas. Tal como previamente mencionado, este tipo de válvulas são fabricadas de acordo com as necessidades de cada projeto através da manipulação da rigidez da borracha utilizada, com grande impacto nas perdas de carga localizadas e na velocidade dos jatos. Deste modo, para cada caso concreto deverão ser solicitadas ao fabricante as propriedades hidráulicas das válvulas servindo os valores apresentados na tabela 2.2 apenas de referência. O coeficiente de perda de carga localizada é dado por:

$$H = \xi_{duck} \cdot \frac{U_{duck}^2}{2 \cdot g} \tag{2.69}$$

| Referência | $H\ [m]$ | $A_{duck}\ [m^2]$ | $U_{duck}\ [m/s]$ |
|---|---|---|---|
| TF100 | $0.0634 \cdot Q$ | $13.075 \cdot \ln(Q) - 9.201$ | $1.3485 \cdot Q^{0.5536}$ |
| TF150 | $0.0232 \cdot Q$ | $38.828 \cdot \ln(Q) - 27.300$ | $0.5277 \cdot Q^{0.5558}$ |
| TF200 | $0.0124 \cdot Q$ | $40.466 \cdot \ln(Q) - 6.429$ | $0.2917 \cdot Q^{0.5967}$ |
| TF305 | $0.0067 \cdot Q$ | $95.950 \cdot \ln(Q) - 200.940$ | $0.4529 \cdot Q^{0.4732}$ |

Tabela 2.2 – Cálculo hidráulico de válvulas *duckbill* – Valores de referência (Lee,1998)

em que $H\ [m], A_{duck}[m^2]\ e\ U_{duck}\ [m/s]$ representam a perda de carga localizada, a área da secção e a velocidade de escoamento na válvula *duckbill*, respetivamente.

## 2.5. MODELO HIDRÁULICO

O método de cálculo hidráulico adotado baseia-se na abordagem utilizada pelo modelo computacional CORHYD®. O conceito base do processo de cálculo baseia-se numa análise hidráulica *"riser a riser"* onde, através de um processo iterativo e por aplicações sucessivas do teorema de Bernoulli, é possível descrever o funcionamento do sistema.

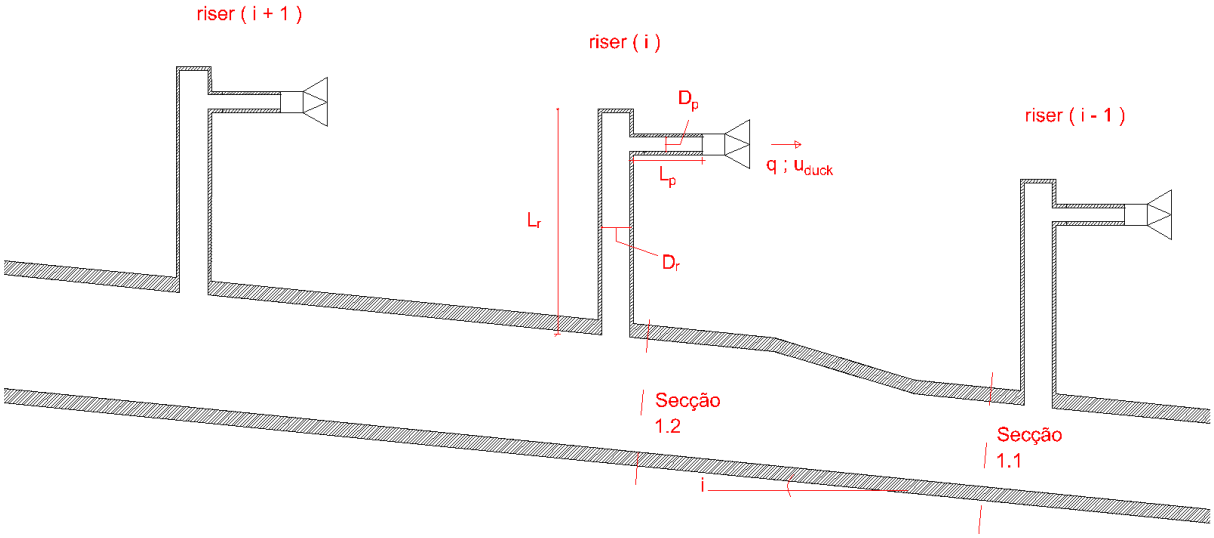



Figura 2.19 – Esquema de cálculo de um difusor

Existem duas formas de abordar a resolução hidráulica de um emissário submarino, figura 2.20.

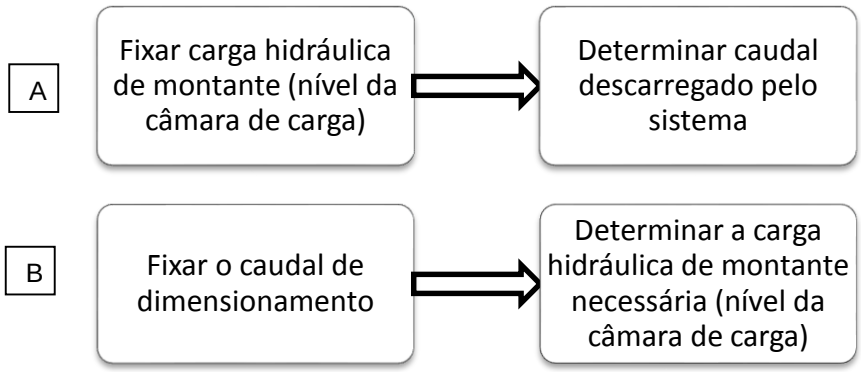



Figura 2.20 – Hipóteses de cálculo hidráulico do difusor de um emissário submarino.

A generalidade dos casos enquadra-se na segunta situação, em que é conhecido o caudal de projeto e se pretende determinar as cotas de exploração da câmara de carga do sistema. Quando um emissário é projetado conjuntamente com a ETAR que lhe corresponde, serão, normalmente, realizados estudos de análise demográfica da zona servida pelo sistema, por forma a determinar qual o caudal máximo expectável durante o período de vida útil da obra. Existirão, no entanto, casos em que o emissário é projetado em fase posterior à Estação de Tratamento de Águas Residuais e, nessa situação, estando a

ETAR em pleno funcionamento, será mais fácil e rigoroso o conhecimento, quer dos caudais de dimensionamento, quer da carga poluente das águas residuais após tratamento.

### 2.5.1. EQUAÇÕES GERAIS

As equações seguidamente apresentadas, desenvolvidas por Bleninger (2005) por aplicação do teorema de Bernoulli ao cálculo hidráulico de difusores de emissários submarinos, foram concebidas com o intuito de simplificar a sua aplicação em programas de cálculo automático.

$$p_{d,i} = p_{d,i-1} + \rho_e \cdot g \cdot \left(z_{d,i-1} - z_{d,i}\right) + \frac{\rho_e}{2*\left(A_{d,i-1}\right)^2} \cdot \left(\sum_{k=1}^{i-1} q_k\right)^2 - \frac{\rho_e}{2*\left(A_{d,i}\right)^2} \cdot \left(\sum_{k=1}^{i} q_k\right)^2 + \left\{\frac{\rho_e}{2} \cdot \left(\sum_{k=1}^{i-1} q_k\right)^2 \cdot \left[\sum_{j=1}^{n_{d,i-1}} \frac{1}{A_{d,i-1,j}} \cdot \left(\xi_{d,i-1,j} + \lambda_{d,i-1,j} \cdot \frac{L_{d,i-1,j}}{D_{d,i-1,j}}\right)\right]\right\} \quad (2.70)$$

A equação 2.70 permite o cálculo da pressão na secção do difusor imediatamente anterior ao *riser* em estudo. Tal como se pode observar, a sua aplicação depende do conhecimento da pressão da secção homóloga correspondente ao *riser* situado imediatamente a jusante, bem como das perdas de carga que ocorrem entre ambos. Será também necessário conhecer o caudal descarregado, quer pelo *riser* em estudo, quer por todos os *risers* situados a jusante de si. A expressão apresentada resulta da aplicação do Teorema de Bernoulli entre a secção $1.1_i$ e a secção $1.1_{i-1}$.

$$p_{d,i} = p_{a,i} + \rho_e \cdot g \cdot \left(z_{jet,i} - z_{d,i}\right) + \frac{\rho_e}{2\cdot\left(C_{c,i}\cdot A_{p,i}\right)^2} \cdot \left(\alpha_i \cdot q_i\right)^2 - \frac{\rho_e}{2\cdot\left(A_{d,i}\right)^2} \cdot \left(\sum_{k=1}^{i} q_k\right)^2 + \left\{\frac{\rho_e \cdot q_i^2}{2} \cdot \left[\sum_{j=1}^{n_{p,i}} \left(\frac{\alpha_i}{A_{p,i,j}}\right)^2 \cdot \left(\xi_{p,i,j} + \frac{\lambda_{p,i,j}\cdot L_{p,i,j}}{D_{p,i,j}}\right) + \sum_{j=1}^{n_{r,i}} \left(\frac{1}{A_{r,i,j}}\right)^2 \cdot \left(\xi_{r,i,j} + \frac{\lambda_{r,i,j}\cdot L_{r,i,j}}{D_{r,i,j}}\right)\right]\right\} \quad (2.71)$$

A equação 2.71, contrariamente à anterior, permite calcular a pressão na secção $1.1_i$ por aplicação do Teorema de Bernoulli entre essa secção e a secção de descarga do *riser "i"*. Tem, como vantagem, a possibilidade de calcular as condições hidráulicas internas do difusor por análise do equilíbrio energético entre uma secção interior e outra exterior ao difusor, permitindo assim calcular propriedades hidráulicas internas a partir das condições hidráulicas externas. Tal como se pode observar, será necessário conhecer o caudal descarregado pelo *riser "i"* para aplicação da equação em questão. Assim, será especialmente adequada, como se verá adiante, para dar início ao processo iterativo de cálculo, nomeadamente, para calcular a pressão interna do primeiro *riser*.

Existindo, naturalmente, interesse em conhecer o diagrama de pressões internas ao longo de um difusor, do ponto de vista hidráulico, o parâmetro de maior relevância será o caudal descarregado por *riser*. Calculando a pressão interna de uma secção do difusor por aplicação da equação 2.70 ou 2.71 deverá surgir com o mesmo resultado. Assim, igualando ambas as expressões e resolvendo em ordem a $q_i$ será possível, de forma explícita, calcular o caudal descarregado por cada *riser*.

$$q_i = \sqrt{\frac{\frac{2}{\rho_e}\cdot\left(p_{d,i-1}-p_{a,i}\right)+2\cdot g\cdot\left(z_{d,i-1}-z_{jet,i}\right)+\left(\sum_{k=1}^{i-1} q_k\right)^2\cdot\left[\frac{1}{\left(A_{d,i-1}\right)^2}+\sum_{j=1}^{n_{d,i-1}}\frac{1}{\left(A_{d,i-1,j}\right)^2}\cdot\left(\xi_{d,i-1,j}+\lambda_{d,i-1,j}\cdot\frac{L_{d,i-1,j}}{D_{d,i-1,}}\right)\right]}{\frac{\alpha_i^2}{\left(C_{c,i}\cdot A_{p.i}\right)^2}+\sum_{j=1}^{n_{p,i}}\left(\frac{\alpha_i}{A_{p,i,j}}\right)^2\cdot\left(\xi_{p,i,j}+\frac{\lambda_{p,i,j}\cdot L_{p,i,j}}{D_{p,i,j}}\right)+\sum_{j=1}^{n_{r,i}}\left(\frac{1}{A_{r,i,j}}\right)^2\cdot\left(\xi_{r,i,j}+\lambda_{r,i,j}\cdot\frac{L_{r,i,j}}{D_{r,i,j}}\right)}} \quad (2.72)$$

No conjunto de equações apresentado, $\rho_e$ $[kg/m^3]$ representa a massa volúmica do efluente, $g$ $[m/s^2]$ a aceleração gravítica, $C_{c,i}$ $[-]$ o coeficiente de contração do jato associado ao *riser "i"*, $\alpha_i$ $[-]$ o coeficiente relativo ao número de portas associado ao *riser* "i", $A_{d,i}$ $[m^2]$ a área da secção do difusor associado ao *riser* "i", $A_{p,i}$ $[m^2]$ a área da secção da porta associada ao *riser* "i", $A_{r,i}$ $[m^2]$ a área da secção do *riser* "i", $q_i$ $[m^3/s]$ o caudal descarregado pelo *riser "i"*, $\xi$ $[-]$ o coeficiente de perda de carga localizada, $\lambda$ $[-]$ o coeficiente de resistência, $q_i$ $[m^3/s]$ o caudal descarregado pelo *riser "i"*, $p_{a,i}$ $[Pa]$ *a* pressão ambiente associada à secção de descarga na porta do *riser "i"*, $p_{d,i}$ $[Pa]$ a pressão interna, ao nível do eixo do difusor, na secção associada ao *riser "i"*.

### 2.5.2. METODOLOGIA DE CÁLCULO. PROCESSO ITERATIVO.

Resultando as equações apresentadas da aplicação do Teorema de Bernoulli entre *risers* adjacentes, para calcular o caudal descarregado pelo *riser (i)*, é necessário conhecer a pressão e o caudal do *riser (i–1)*, equação 2.70. Como consequência, será necessário arbitrar o caudal descarregado pelo *riser* mais a jusante (*i=1)* por forma a calcular, por equilíbrio energético, os restantes *risers*. Assim, toda a distribuição de caudais ao longo do difusor depende, em última análise, do caudal arbitrado para o *riser* de jusante e será necessário, por via de um processo iterativo de cálculo, determinar qual a distribuição de caudais que conduz ao caudal total pretendido.

Apesar de se tratar de um processo rapidamente convergente, é frequente utilizar o caudal médio como primeira estimativa do caudal descarregado pelo primeiro *riser*. De facto, a distribuição de caudais de um difusor corretamente dimensionado, deverá aproximar-se, tanto quanto possível, do caudal médio. Empiricamente se compreenderá que um difusor, a cuja distribuição de caudais corresponda um elevado desvio padrão, atingirá piores resultados em termos de diluição inicial, uma vez que alguns *risers* estarão a descarregar caudais substancialmente superiores aos restantes, resultando numa pior homogeneização do efluente com o volume de água adjacente.

Em cada passo iterativo, Figura 2.20, será calculada a distribuição de caudais que, consentaneamente com as perdas de carga que ocorrem ao longo do difusor, conduz à descarga do caudal arbitrado para o *riser (i=1).* Assim, no final de cada passo iterativo, deverá proceder-se ao cálculo do caudal total descarregado pelo conjunto de *risers*, comparar a solução obtida com o caudal total pretendido e corrigir convenientemente o caudal inicialmente arbitrado para o *riser (i=1).*

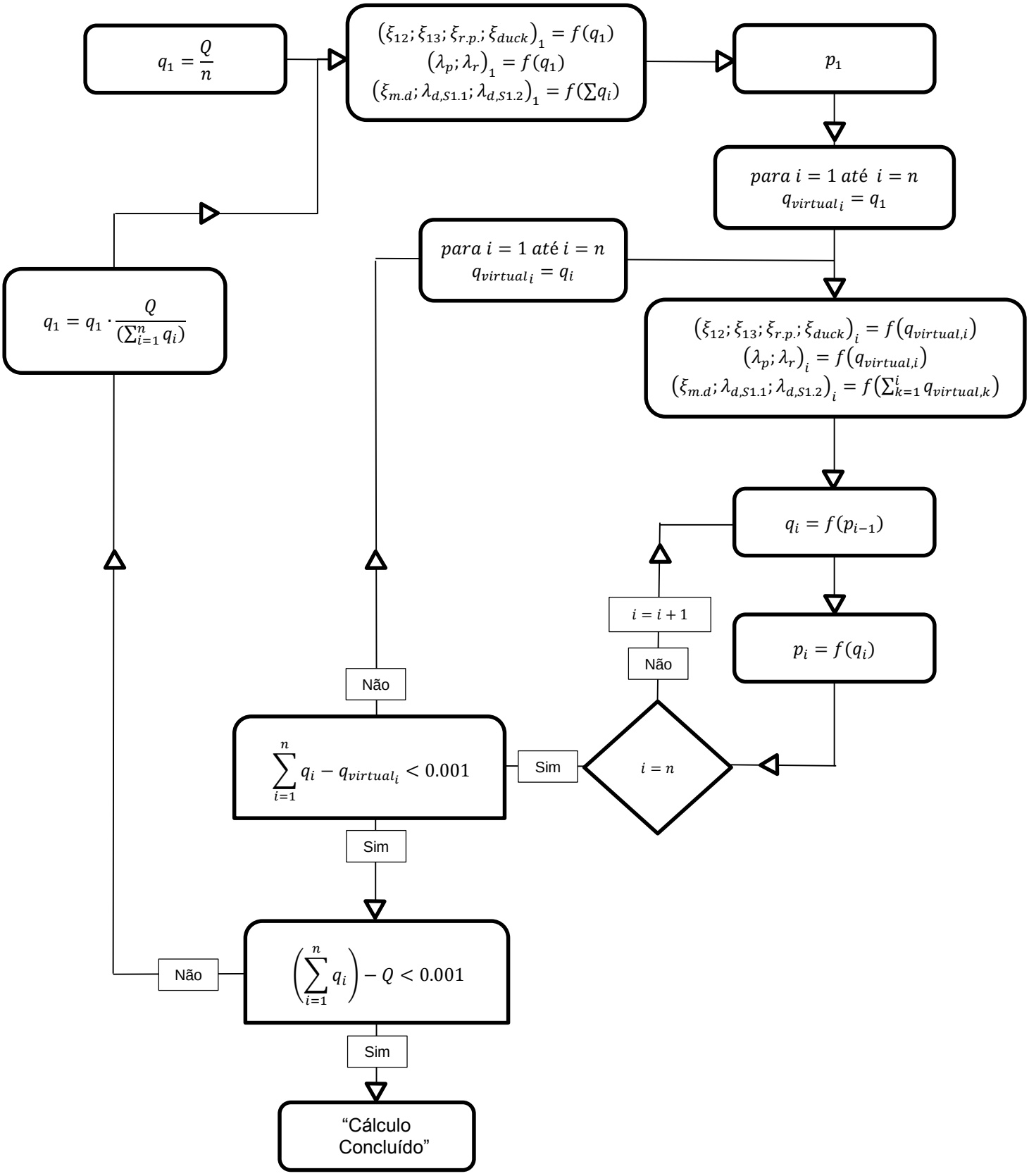



Figura 2.21 – Processo iterativo para cálculo hidráulico do difusor de um emissário submarino.

## 2.6. CÂMARA DE CARGA

Uma vez realizado o cálculo hidráulico de um emissário submarino, passam a ser conhecidas as perdas de carga totais que ocorrem ao longo do sistema, podendo-se assim definir qual o nível mínimo da cota piezométrica necessário na ETAR por forma a garantir que o escoamento no interior do emissário se processa nas condições antecipadas no projeto. Frequentemente, em emissários de grande comprimento ou em locais de pequena inclinação geográfica, a garantia dessa cota piezométrica apenas é possível com recurso a um grupo elevatório que deverá ceder ao escoamento a energia correspondente ao défice piezométrico calculado. Poderá ainda acontecer, embora com menor frequência, que a cota piezométrica ao nível da ETAR seja demasiado elevado, induzindo no emissário caudais e velocidades do escoamento superiores aos desejados. Nesses casos, será necessária a introdução de uma perda de carga adicional por meio de instalação de uma válvula.

Nos casos em que é o sistema funcione de forma gravítica, deverá realizar-se, no extremo de montante do emissário, uma câmara de carga cuja principal função visa garantir que o escoamento no interior do emissário se processa sob pressão.

Frequentemente, quando um emissário submarino se destina a descarregar o efluente de uma ETAR que realiza o tratamento das águas residuais de um pequeno aglomerado populacional, o caudal médio diário tratado na ETAR é insuficiente para garantir que, utilizando os diâmetros correntes disponíveis, se possam garantir condições de escoamento adequadas no interior do emissário. Nesses casos, o emissário submarino deverá ter um funcionamento do tipo intermitente e caberá à câmara de carga funcionar como reservatório de regularização de caudal. O dimensionamento de um reservatório desse tipo deverá atender a diversos fatores, nomeadamente, ao caudal afluente, ao caudal de funcionamento do emissário submarino, à duração das descargas e ao tempo de retenção máximo admissível. Deverá ainda ser tido em conta a evolução previsível do caudal ao longo do período de vida útil do projeto, a estimar por aplicação de métodos de projeção demográfica.

Apresentam-se, de seguida, alguns exemplos onde se analisa a sensibilidade do volume necessário para a câmara de carga, caso esta funcione como reservatório de regularização, face à variação dos diversos parâmetros enunciados. Será admitido, por simplicidade, que o caudal afluente ao reservatório é constante, supondo-se assim que a regularização das variabilidade horária do volume de águas residuais que aflui à ETAR para tratamento é realizado a montante.

Admitindo um caudal afluente constante de 10 l/s, no ano inicial, um caudal de funcionamento do emissário submarino de 100 l/s e uma duração de descarga de 0.25 h, então o volume mínimo da câmara de carga poderá ser obtido graficamente, Figura 2.21, e será aproximadamente 81 $m^3$. Admita-se agora que os estudos de projeção demográfica demonstram que o caudal afluente ao reservatório, após tratamento, deverá aumentar para 20 l/s no ano horizonte de projeto. Então, mantendo as condições de funcionamento do emissário submarino constantes, o volume mínimo da câmara de carga deverá diminuir para cerca de 72 $m^3$, Figura 2.22. Admita-se por último que, por forma a diminuir o número de descargas diárias, a duração de descarga, nas condições do ano horizonte de projeto, é aumentada para 0.5 h. Nesse caso, o volume da câmara de carga aumentar para cerca de 144 $m^3$, Figura 2.23.

Poderá assim concluir-se que, o volume da câmara de carga, quando esta possui capacidade de regularização deverá,

- Diminuir com o aumento do caudal afluente,
- Aumentar com o aumento do caudal de descarga e com o aumento da duração da descarga.

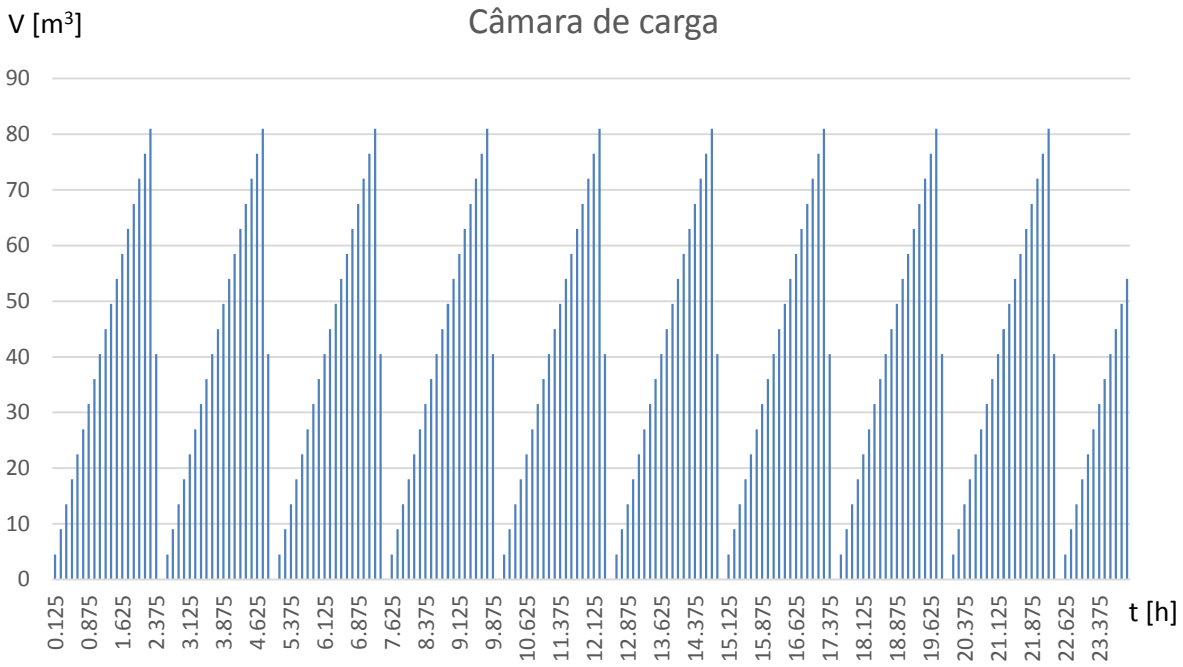



Figura 2.22 – Volume de águas residuais tratadas no interior de uma câmara de carga ao longo de um dia para um caudal afluente de 10 l/s, caudal de descarga de 100 l/s, duração de descarga de 0.25 h.

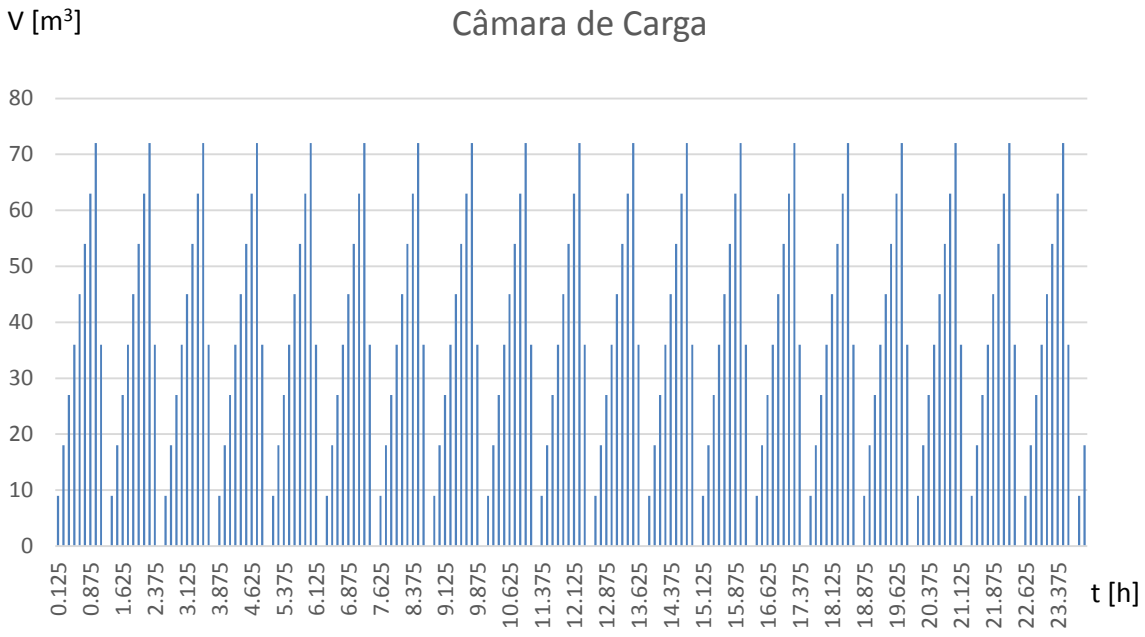



Figura 2.23 – Volume de águas residuais tratadas no interior de uma câmara de carga ao longo de um dia para um caudal afluente de 20 l/s, caudal de descarga de 100 l/s, duração de descarga de 0.25 h.

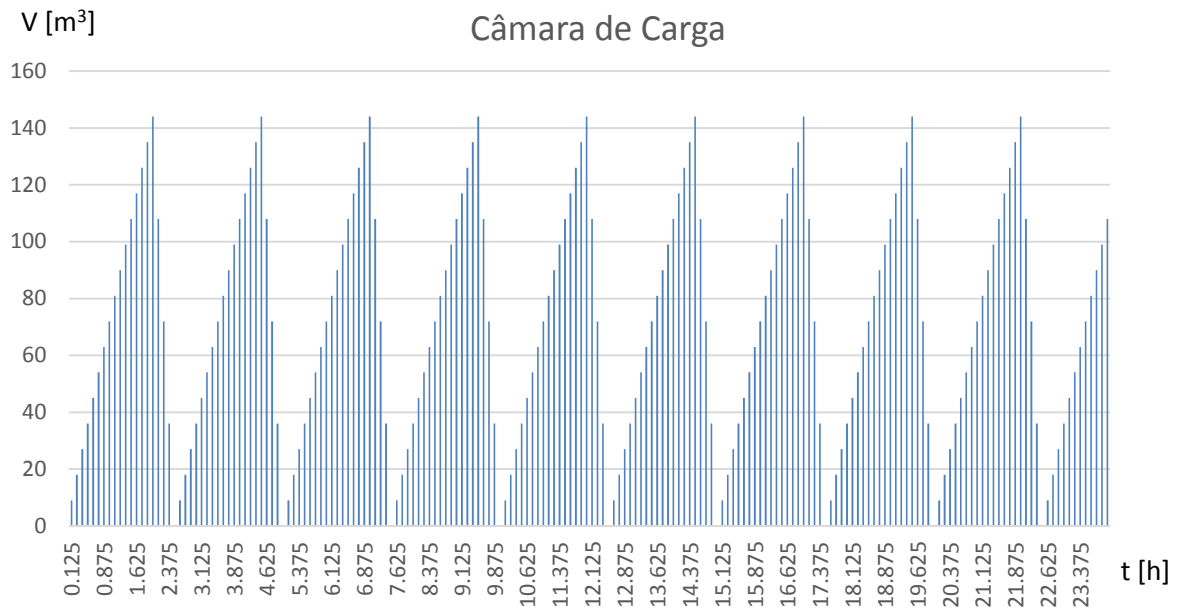



Figura 2.24 – Volume de águas residuais tratadas no interior de uma câmara de carga ao longo de um dia para um caudal afluente de 20 l/s, caudal de descarga de 100 l/s, duração de descarga de 0.5 h.

# 3
# DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

## 3.1. ASPETOS GERAIS

Tal como qualquer estrutura sujeita à ação da agitação marítima, um emissário submarino deverá ser capaz de resistir à repetida ação das ondas e correntes que sobre si irão incidir. Os emissários submarinos são, no entanto, estruturas costeiras com propriedades peculiares. São estruturas enraizadas na costa que se estendem ao longo de centenas de metros, de forma mais ou menos perpendicular à costa, assentes sobre o fundo marítimo. Por serem estruturas submersas, de pequena altura, evitam, na maior parte do seu percurso, o impacto direto da agitação e estão apenas sujeitas aos campos de velocidades gerados em profundidade pela passagem das ondas.

O peso próprio de um emissário submarino é, geralmente, insuficiente para garantir a estabilidade da estrutura face às ações desestabilizadoras que sobre si atuam, sendo por isso necessário conceber soluções de proteção estrutural. Apesar das diversas metodologias de proteção estrutural de emissários submarinos existentes, a sua viabilidade dependerá sobretudo das condições geológicas locais, bem como da intensidade da agitação marítima. Com base nesses pressupostos será abordada no presente capítulo uma metodologia para quantificação de ações sobre emissários submarinos, bem como apresentadas as principais soluções estruturais atualmente utilizadas.

## 3.2. QUANTIFICAÇÃO DE AÇÕES

O estudo dos fenómenos hidrodinâmicos em torno de um cilindro tem aplicabilidade prática em inúmeros casos de Engenharia Civil, por exemplo, plataformas *off-shore*, oleodutos, gasodutos, pilares de obras de arte, entre outras. Um elevado número de estudos procuram abordar este fenómeno, sobretudo, do ponto de vista da quantificação das ações geradas pela passagem de um escoamento, com uma dada velocidade e aceleração, em torno de uma estrutura cilíndrica. Apesar da complexidade dos fenómenos hidrodinâmicos envolvidos neste problema, o mesmo encontra-se adequadamente descrito na bibliografia da especialidade, pelo menos do ponto de vista teórico. Ainda assim, na prática, apesar de existir um elevado grau de compreensão do problema, existem sérias dificuldades em encontrar soluções objetivas, analíticas e com elevado grau de precisão para um dado caso concreto.

A metodologia adotada no presente trabalho baseia-se na descrição dos diagramas de velocidades e acelerações ao longo do emissário submarino, por via da teoria linear de ondas, e aplicação da fórmula de Morison para determinação das solicitações hidrodinâmicas geradas pelo escoamento em torno do emissário submarino.

### 3.2.1. TEORIA LINEAR DE ONDAS

"As ondas marítimas são um fenómeno complexo, difícil, senão impossível, de descrever corretamente em termos matemáticos. Muitas das suas características podem, no entanto, ser descritas dentro de limites aceitáveis", (Robert L. Wiegel, 1964).

A teoria linear de ondas procura descrever de forma simplificada, o complexo fenómeno da agitação marítima, sendo o grau de incerteza a si associado perfeitamente compatível com o estudo das solicitações estruturais de um emissário submarino.

De acordo com esta teoria, a superfície livre de uma massa líquida homogénea, incompressível e não viscosa, através da qual se propaga uma onda progressiva, é dada pela equação 3.2, quando coordenada pelo sistema de eixos $(x, z)$ representado na figura 3.1.

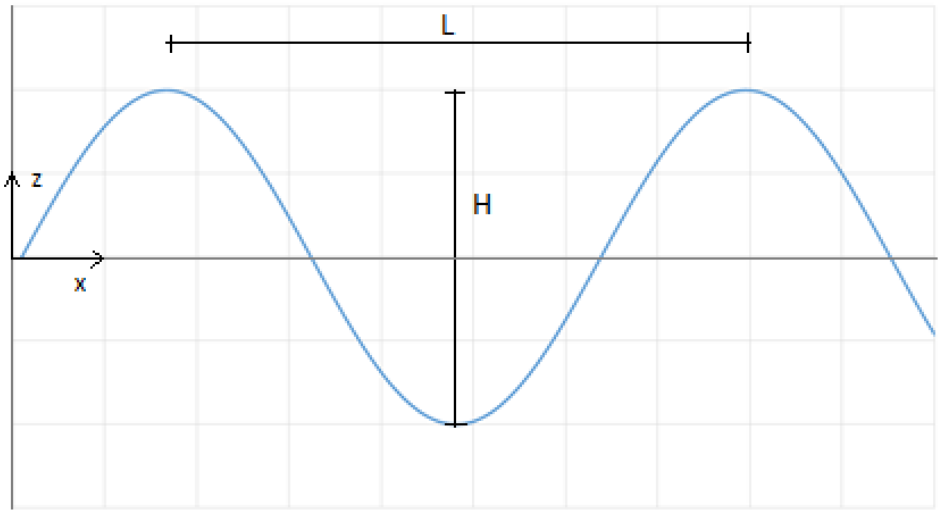



Figura 3.1 - Sistema coordenado adotado para aplicação da Teoria Linear de Ondas

$$\eta = \frac{H}{2} \cdot \frac{\sinh\left(\frac{2\pi(z+d)}{L}\right)}{sinh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} \cdot \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \tag{3.1}$$

Como, para análise da superfície livre, temos que $z = 0$, então:

$$\eta = \frac{H}{2} \cdot \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \tag{3.2}$$

em que, $\eta$ $[m]$ representa a elevação da superfície livre, $H$ $[m]$ a altura de onda, $d$ $[m]$ a profundidade de água, $L$ $[m]$ o comprimento de onda, $t$ $[s]$ o tempo e $T$ $[s]$ o período de onda.

A passagem de uma onda sobre um emissário submarino, traduz-se na geração de esforços sobre a estrutura por ação dos campos de velocidades e acelerações que a agitação induz na massa líquida na vizinhança do emissário. A Teoria Linear de Ondas admite que, no plano $(x, z)$, o escoamento é irrotacional e que não há transporte de massa. Assim, a trajetória de qualquer partícula da coluna de água, em águas profundas, é do tipo orbital. A trajetória de uma partícula localizada na superfície livre será, de acordo com a teoria linear, uma circunferência de raio $H/2$, ao passo que partículas mais profundas deverão descrever circunferências de raio gradualmente menor. Em águas pouco profundas, a trajetória das partículas de água deverá, no entanto, aproximar-se de uma elipse, tanto mais achatada quanto menor a profundidade relativa $d/L$, Figura 3.2.

O raio da trajetória de qualquer partícula, em águas profundas, pode ser obtido através da equação 3.3.

$$r = \frac{H}{2} \cdot e^{\frac{2\pi z}{L}} \tag{3.3}$$

em que $r$ $[m]$ representa o raio das trajetórias.

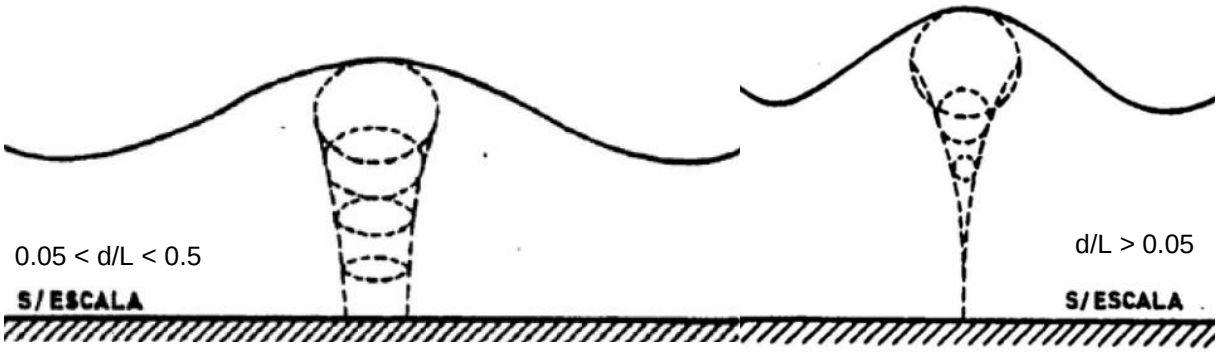



Figura 3.2 - Trajetórias orbitais das partículas de água para diferentes profundidades relativas, *Veloso Gomes*

A análise da figura 3.2 é extremamente relevante do ponto de vista da análise estrutural de um emissário submarino. Compreende-se que o facto do emissário se encontrar assente sobre o fundo marítimo contribui de forma muito significativa para uma redução dos esforços a que este estará sujeito. Esse efeito é tanto maior quanto mais profunda for a coluna de água, sendo por isso expectável que, a dimensão dos elementos de proteção estrutural do emissário diminua com maiores profundidades.

As forças que atuam sobre o emissário são, essencialmente, de dois tipos, nomeadamente, forças de resistência e forças de inércia. Assim, deverão ser caracterizados ao longo da trajetória de implantação do emissário, os diagramas de velocidades e acelerações do escoamento, por forma a caracterizar essas forças.

A velocidade de qualquer partícula no plano $(x, z)$ pode ser decomposta na sua componente horizontal e vertical que, de acordo com a Teoria Linear de Ondas, são dadas pelas equações 3.4 e 3.5

$$u(t,z) = \frac{H}{2} \cdot \frac{gT}{L} \cdot \frac{\cosh\left[\frac{2\pi(z+d)}{L}\right]}{\cosh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} \cdot \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \tag{3.4}$$

$$w(t,z) = \frac{H}{2} \cdot \frac{gT}{L} \cdot \frac{\operatorname{senh}\left[\frac{2\pi(z+d)}{L}\right]}{\cosh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} \cdot \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \tag{3.5}$$

em que $u\ [m/s]$ corresponde à componente horizontal da velocidade e $w\ [m/s]$ à componente vertical da velocidade de uma partícula de água localizada à profundidade z [m] de uma coluna de água de altura d [m].

As componentes, horizontal e vertical, da aceleração, de acordo com a mesma teoria, devem ser calculadas através das equações 3.6. e 3.7, respetivamente.

$$\frac{\delta u(t,z)}{\delta t} = +\frac{g\pi H}{L} \cdot \frac{\cosh\left[\frac{2\pi(z+d)}{L}\right]}{\cosh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} \cdot sen\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \tag{3.6}$$

$$\frac{\delta w(t,z)}{\delta t} = -\frac{g\pi H}{L} \cdot \frac{\operatorname{senh}\left[\frac{2\pi(z+d)}{L}\right]}{\cosh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} \cdot cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \tag{3.7}$$

Considerando $\theta = (\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T})$ e $x = constante$, então, os extremos da função velocidade e aceleração deverão ocorrer nas seguintes condições:

- Se $\theta = 0\ ou\ \theta = \pi$, o módulo da velocidade horizontal e o módulo da aceleração vertical tomam os seus valores máximos, expresso pelas equações 3.8 e 3.9. A velocidade vertical e a aceleração horizontal são nulas.

$$u_{máx} = \pm \frac{H}{2} \cdot \frac{gT}{L} \cdot \frac{\cosh\left[\frac{2\pi(z+d)}{L}\right]}{\cosh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} \tag{3.8}$$

$$\left(\frac{\delta w}{\delta t}\right)_{máx} = \pm \frac{g\pi H}{L} \cdot \frac{\operatorname{senh}\left[\frac{2\pi(z+d)}{L}\right]}{\cosh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} \tag{3.9}$$

- Se $\theta = \frac{\pi}{2}\ ou\ \theta = \frac{3\pi}{2}$, o módulo da velocidade vertical e o módulo da aceleração horizontal tomam os seus valores máximos, expressos pelas equações 3.10 e 3.11. A velocidade horizontal e a aceleração vertical são nulas.

$$w_{máx} = \pm \frac{H}{2} \cdot \frac{gT}{L} \cdot \frac{\operatorname{senh}\left[\frac{2\pi(z+d)}{L}\right]}{\cosh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} \tag{3.10}$$

$$\left(\frac{\delta u}{\delta t}\right)_{máx} = \pm \frac{g\pi H}{L} \cdot \frac{\cosh\left[\frac{2\pi(z+d)}{L}\right]}{\cosh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} \tag{3.11}$$

### 3.2.2. Estimativas de longo prazo. Análise de extremos.

Os elevados custos económicos e ambientais associados à ocorrência de danos, ou à rotura, de um emissário submarino impõe a necessidade de utilizar níveis de segurança elevados no seu projeto estrutural. Apesar da elevada ductilidade de algumas soluções de emissários submarinos, a estrutura deverá ser capaz de resistir estruturalmente à ação de eventos extremos de agitação marítima. O período de vida útil de um emissário submarino é, usualmente, cerca de 50 anos (*Montgomery Watson, 1994* referido em *Sewerage Manual, 2013*), embora, em projetos de grande dimensão, são por vezes considerados períodos de vida útil até 100 anos. Durante esse longo período de tempo, o emissário deverá possuir capacidade de resistir à ação das ondas de diversas tempestades e, em particular, à ação da onda de projeto, associada a um dado período de retorno. O período de retorno deverá ser definido em conformidade com o nível de risco aceitável para cada projeto.

Por forma a estimar a altura de onda de projeto associada a um dado período de retorno com elevado nível de confiança, é necessária a existência de registos de agitação marítima de boa qualidade e longa duração. Em Portugal, na maioria das estações ondógrafo, os registos de agitação marítima estende-se a duas ou três décadas. Deverão apenas ser extrapoladas alturas de onda relativas a um período de retorno cerca de 3 vezes a duração dos registos disponíveis, isto é,

$$T_{R_{MÁX}} \cong 3 \cdot n$$

em que $T_{R_{MÁX}}$ $[anos]$ corresponde ao período de retorno máximo que é possível extrapolar a partir de um registo de $n$ anos. Apesar de, na maioria dos casos, o número de anos de registos disponíveis ser manifestamente inferior ao recomendado, é usual, não existindo outra opção disponível, a realização das referidas extrapolações, ainda que os seus resultados devam ser encarados com especial prudência. Por forma a garantir a independência dos registos, é usual considerar apenas a altura de onda significativa máxima de cada ano de registo, o que diminui drasticamente a dimensão dos registos disponíveis.

As distribuições estatísticas mais frequentemente utilizadas para estimação das condições de agitação marítima extremas são a distribuição normal, log-normal, Weibull e Fisher-Tippett Tipo I e Gumbel.

### 3.2.3. ESCOAMENTO EM TORNO DE UMA ESTRUTURA CILÍNDRICA

Apesar de conhecida a relação entre a velocidade do escoamento e as solicitações geradas na estrutura cilíndrica, a sua quantificação precisa é extremamente complexa, sobretudo em estruturas marítimas, sujeitas à aleatoriedade da agitação marítima. O efeito da velocidade do escoamento nos fenómenos hidrodinâmicos em torno de um cilindro pode ser avaliado tendo em atenção o número de Reynolds,

$$Re = \frac{DU}{\nu} \tag{3.12}$$

em que D [mm] corresponde ao diâmetro do cilindro, U [m/s] à velocidade do escoamento e $\nu$ $[m^2/s]$ a viscosidade cinemática. A passagem do escoamento pela estrutura cilíndrica irá gerar, para números de Reynolds superiores a 5, o aparecimento de vórtices a jusante da estrutura, Figura 3.3.

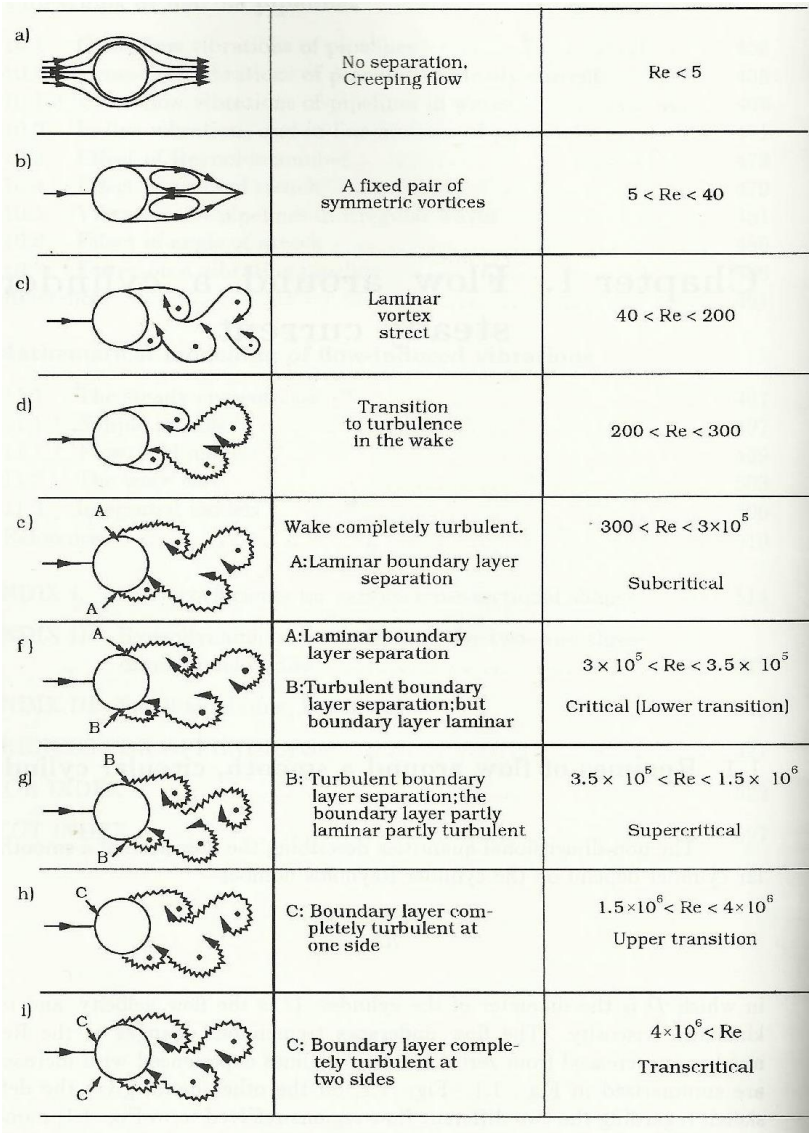



Figura 3.3 – Evolução dos fenómenos de vorticidade a jusante de uma estrutura cilíndrica com o número de Reynolds, *Jørgen Fredsøe et al. (1997)*

Os fenómenos de vorticidade, por força da sua assimetria no tempo, e da turbulência que geram na vizinhança da estrutura cilíndrica, irão provocar variações significativas na distribuição de pressões ao longo do perímetro da estrutura. Como resultado, mesmo perante uma situação em que o escoamento possui uma velocidade constante, a estrutura estará sujeita a variações periódicas das forças verticais e horizontais que sobre si atuam.

Para números de Reynolds inferiores a 40, os vórtices formados a jusante da estrutura são praticamente simétricos, resultando, por esse motivo, em forças verticais nulas. No entanto, a partir de números de Reynolds superiores 40, a vorticidade torna-se assimétrica, resultando em distribuições de pressão também assimétricas e conduzindo ao aparecimento de forças verticais. Note-se que esse fenómeno é tanto mais intenso quanto maior o número de Reynolds e no caso de um emissário submarino comum, o escoamento possui um número de Reynolds na gama de $1 \cdot 10^5$ a $1 \cdot 10^6$.

A proximidade da estrutura a uma barreira sólida tem efeitos muito significativos nos fenómenos de vorticidade e consequentemente nas forças a que a estrutura está sujeita. Os fenómenos de vorticidade são eliminados para relações de $e/D < 0{,}3$, em que $e$ representa o espaçamento entre a estrutura e a barreira sólida e D representa o diâmetro da estrutura. As forças verticais originadas pelo efeito da vorticidade vão, portanto, diminuindo à medida que a estrutura se aproxima do limite sólido. Surge no entanto, um novo efeito, Figura 3.4, relacionado com o deslocamento do ponto de estagnação de uma posição de aproximadamente 0º para $e/D = 1$ para posições subsequentemente inferiores à medida que a estrutura se aproxima da barreira sólida, nomeadamente, aproximando-se de cerca de -40º quando $e/D = 0.1$. Como resultado as forças verticais provocadas pela vorticidade desaparecem quando a estrutura se aproxima da barreira sólida, sendo no entanto substituídas por forças verticais geradas pela rotação do ponto de estagnação, Figura 3.5.

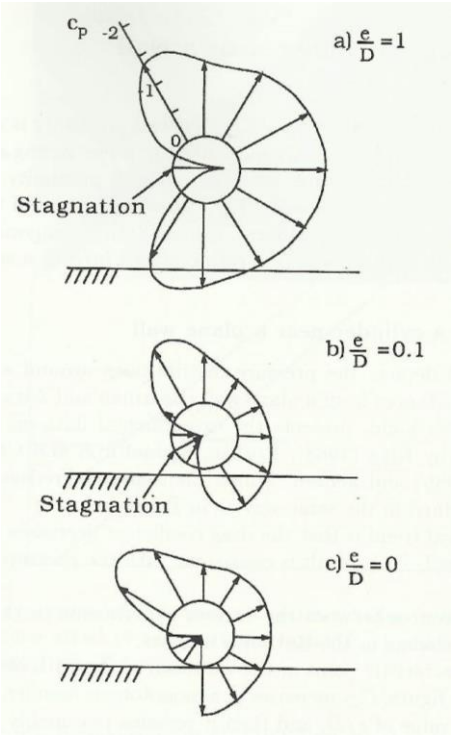



Figura 3.4 – Rotação do ponto de estagnação por aproximação da estrutura cilíndrica a uma barreira sólida, *Jørgen Fredsø et al. (1997)*

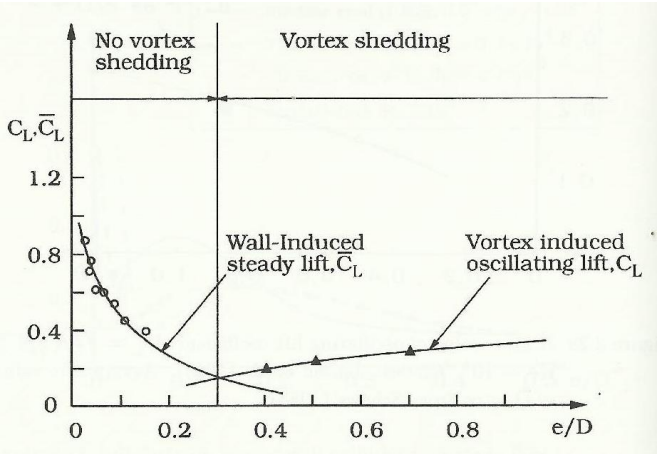



Figura 3.5 – Efeito da proximidade da estrutura a uma barreira sólida nas forças verticais, *Jørgen Fredsøe et al. (1997)*

Este efeito é particularmente importante no caso de emissários submarinos assentes sobre fundos marítimos arenosos. A proximidade da estrutura ao fundo sobre o qual está assente irá provocar um aumento significativo da velocidade do escoamento no limite inferior da estrutura, intensificando os fenómenos de erosão do fundo e podendo conduzir ao colapso da estrutura, Figura 3.6. Assim, se possível, o emissário submarino devera estar suspenso nos colares de betão que o sustentam, elevando-se o emissário, tanto quanto possível, do fundo. Em emissários submarinos de pequenas dimensões facilmente é possível obter $0.5 < e/D < 1$.

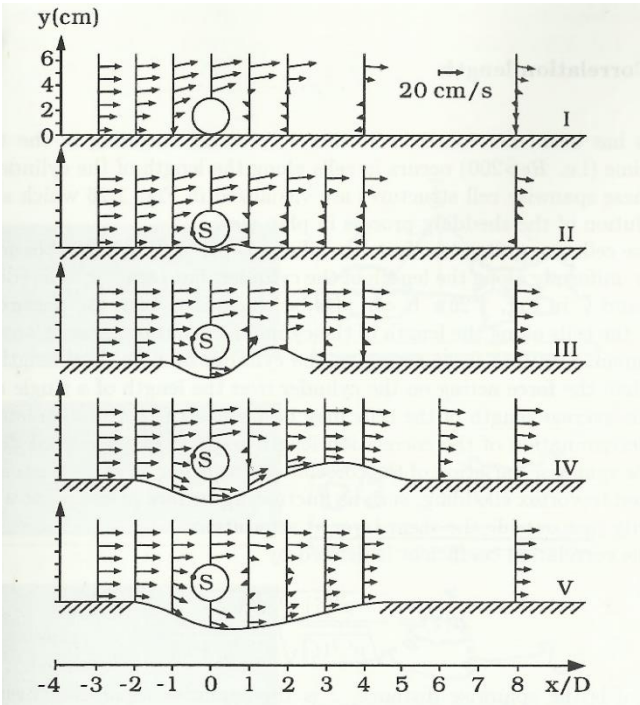



Figura 3.6 – Efeito da proximidade da estrutura a uma barreira sólida nas forças verticais, *Jensen et al. (1990) referido por Jørgen Fredsøe et al. (1997)*

Um emissário submarino não se encontra, no entanto, submetido à ação de um escoamento de velocidade constante. Os campos de velocidades que se desenvolvem em torno do emissário são influenciados, por um lado, pela corrente marítima, cuja variação é muito lenta, combinado com uma variação, do tipo oscilatório, provocada pela passagem das ondas. Tal como referido, os fenómenos de vorticidade, dos quais dependem, em parte, as solicitações que atuam sobre o emissário, estão relacionados com o número de Reynolds. No entanto, quando o escoamento é do tipo oscilatório, um novo parâmetro tem de ser considerado, nomeadamente, o número de Keulegan-Carpenter, KC, definido por,

$$KC = \frac{U_m T_w}{D} \tag{3.13}$$

em que $U_m$ $[m/s]$ representa a velocidade máxima do escoamento, $T_w$ $[s]$ o período de onda e $D$ $[m]$ o diâmetro do emissário. A análise da equação 3.13, permite compreender a razão pela qual o número KC é relevante para o desenvolvimento de forças em torno do emissário. O numerador de KC, produto da velocidade pelo período, relaciona-se com a distância percorrida pelas partículas de água em torno do emissário. Assim, KC poderá ser entendido como a relação entre a distância percorrida pelas partículas de água e o diâmetro do emissário. O desenvolvimento de vorticidade a jusante da estrutura, necessita simultaneamente de tempo e espaço, pelo que, para valores de KC muito reduzidos, em que a distância percorrida pelas partículas de água é pequena quando comparada com a dimensão da estrutura, não ocorrerão fenómenos de vorticidade.

A relação entre as solicitações sobre o emissário com o número de Reynolds, sendo já fortemente não-linear, torna-se ainda mais complexa considerando o efeito do número de Keulegan-Carpenter. A existência de outros fatores, de grande relevância, para determinação das ações sobre um emissário, como por exemplo, a rugosidade exterior, o ângulo de ataque ou o facto de que as trajetórias desenvolvidas pelas partículas de água, por ação da agitação marítima, serem do tipo orbital, impossibilita a resolução analítica deste problema.

### 3.2.4. Fórmula de Morison

Apesar das dificuldades previamente enunciadas, o método mais utilizado para determinação da força que atuam sobre uma estrutura cilíndrica, no sentido do escoamento, consiste na aplicação da fórmula da Morison, Equação 3.14,

$$F = \frac{1}{2}\rho C_D U|U| + \rho C_m A\left(\frac{\delta U}{\delta t}\right) + \rho A\left(\frac{\delta U}{\delta t}\right) \tag{3.14}$$

em que $\rho$ $(kg/m^3)$ representa a massa volúmica do fluído, $C_D$ o coeficiente de resistência, $C_m$ o coeficiente de massa hidrodinâmico, $U$ $[m/s]$ a velocidade do escoamento, $A$ $[m^2]$ área exposta ao escoamento e $\delta U/\delta t$ $[m/s^2]$ a aceleração do escoamento. De acordo com a fórmula de Morison, a força, no sentido do escoamento pode ser interpretada pela sobreposição de três componentes fundamentais, correspondentes às três parcelas da equação 3.14, nomeadamente, as forças de resistência, as forças hidrodinâmicas e as forças de Froude-Krylov. As forças de resistência resultam da existência, por um

lado, de fricção entre a estrutura e o fluído, e por outro, pela forma mais ou menos hidrodinâmica da estrutura. A força hidrodinâmica pode ser descrita como sendo a força necessária para acelerar a massa fluída na vizinhança da estrutura. Recorrendo ao exemplo utilizado por *Jørgen Fredsøe et al. (1997),* imagine-se um disco de grande diâmetro imerso num dado fluído. Quando o disco é movimentado ao longo do seu próprio plano, a resistência oferecida pelo fluido, é extremamente reduzida, quando comparada com a enorme resistência que estre sofrerá quando movido perpendicularmente ao seu plano, uma vez que a massa de fluído, na vizinhança do disco, que é necessário acelerar é significativamente maior no segundo caso do que no primeiro.

Diversos estudos experimentais demonstram que as solicitações sobre o emissário submarino são máximas quando a direção da velocidade do escoamento é perpendicular ao emissário. Nesse cenário, a área da conduta, por unidade de comprimento, que se encontra exposta ao escoamento é igual ao diâmetro do emissário, isto é, na equação 3.14, $A = D$. Deste modo, é possível reescrever a fórmula de Morison como sendo,

$$F = \frac{1}{2}\rho C_D U|U| + \rho C_M D\left(\frac{\delta U}{\delta t}\right) \tag{3.15}$$

com,

$$C_M = C_m + 1 \tag{3.16}$$

designando-se $C_M$ como o coeficiente de inércia. Assim, de acordo com a equação 3.15, poderemos definir a força no sentido do escoamento, apenas como resultado da sobreposição das forças de resistência com as forças de inércia, caracterizadas pelo coeficiente de inércia.

### 3.2.5. Forças verticais

Tal como previamente descrito, a conjugação do efeito da vorticidade, o posicionamento do ponto de estagnação e a trajetória orbital das partículas de água resulta no desenvolvimento de forças oscilatórias verticais ao longo do emissário submarino, também designadas por forças de sustentação. As forças de sustentação podem ser definidas por,

$$F_L = \frac{1}{2}\cdot C_L \cdot \rho \cdot D \cdot \left(\frac{\delta U}{\delta t}\right)^2 \tag{3.17}$$

em que $C_L$ corresponde ao coeficiente de sustentação, $\rho$ $[kg/m^3]$ à massa volúmica do fluído, $D$ $[mm]$ ao diâmetro da conduta e $\delta U/\delta t$ $[m/s^2]$ à aceleração do escoamento. Existem inúmeros efeitos que afetam as forças de sustentação, tal como sucede com as forças de resistência e inércia, tais como o efeito da rugosidade exterior do emissário, a trajetória orbital das partículas de água, a proximidade do emissário ao fundo marítimo, entre outros. No entanto, o seu efeito é geralmente englobado no

coeficiente de sustentação, podendo inferir-se a influência de cada um por comparação dos diversos valores de referência e dados experimentais existentes. As forças de sustentação desempenham um papel fundamental na estabilidade de um emissário submarino. São também forças do tipo oscilatório e periodicamente reduzem o peso global da estrutura reduzindo a sua estabilidade. O coeficiente de sustentação, tal como os coeficientes de inércia e resistência, varia com o número de Reynolds e Keulegan-Carpenter.

### 3.2.6. COEFICIENTES DE RESISTÊNCIA, INÉRCIA E SUSTENTAÇÃO

A caracterização das solicitações que atuam sobre um emissário submarino é influenciada por inúmeros fenómenos cujo efeito é de difícil determinação, como por exemplo, o efeito da rugosidade, da proximidade ao fundo marítimo, ou a trajetória orbital das partículas de água em torno do emissário. Nesse sentido, os coeficientes de resistência, inércia e sustentação desempenham um papel fundamental, uma vez que permitem ter em conta, indiretamente, esses efeitos. Existem diversos estudos experimentais relativos à determinação dos referidos coeficientes, sendo, no entanto, os mais referidos na bibliografia, os estudos de Sharpkaya *et al.* (1984). Para diversos cenários, Sharpkaya *et al.* desenvolveram métodos experimentais para determinação dos referidos coeficientes, por medição dos diagramas de pressão ao longo da estrutura, e aplicação inversa da fórmula de Morison, isto é, conhecidas as forças, determinando os coeficientes de resistência e inércia. Dadas os inúmeros cenários de cálculo possíveis, resultantes da relação entre forças, o número de Reynolds e o número de Keulegan-Carpenter, bem como a influência de outros fatores de difícil determinação, os resultados experimentais que é possível encontrar na bibliografia são vastos. A forte aleatoriedade das ondas marítimas, a utilização de diferentes teorias de ondas pelos diversos autores, e as diferenças globais das condições laboratoriais em que foram realizados os estudos experimentais, resultam, naturalmente, numa grande dispersão de resultados, dificultando a análise. Ainda assim, na globalidade dos casos, é possível encontrar tendências comuns para os coeficientes de resistência, inércia e sustentação, em todos os estudos.

Os procedimentos experimentais de Sharpkaya (1976) consistem na utilização de um túnel de água em forma de U, onde um cilindro instrumentado é colocado, numa posição fixa, na porção horizontal do túnel, Figura 3.7, sendo a coluna de água oscilada por forma a obter diferentes valores do número de Reynolds e de Keulegan-Carpentar.

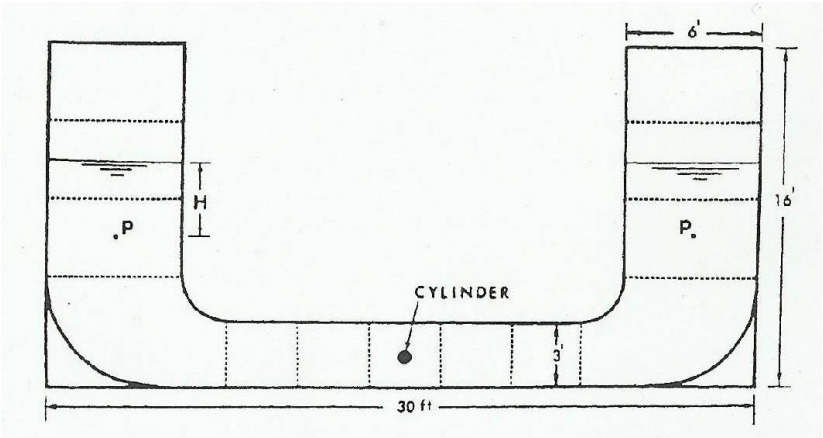



Figura 3.7 – Esquema experimental para obtenção dos coeficientes de resistência, inércia e sustentação *(Sharpkaya, 1976)*

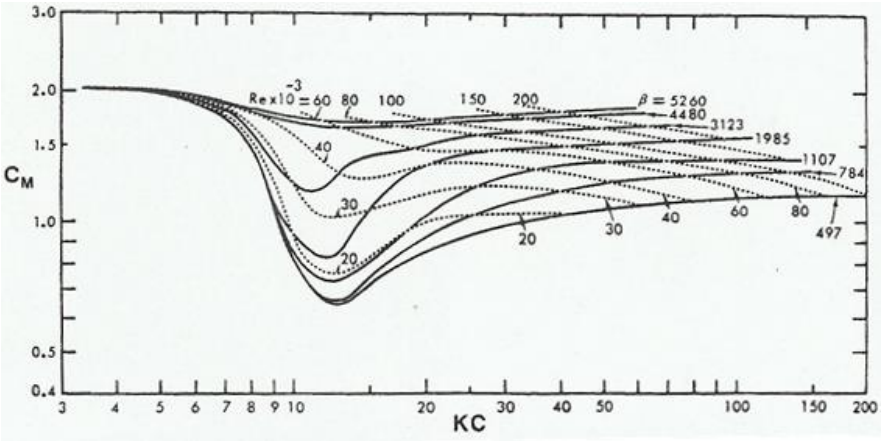



Figura 3.8 – Coeficiente de inércia para diferentes valores de $\beta = Re/KC$ para um cilindro liso, *(Sharpkaya, 1976).*

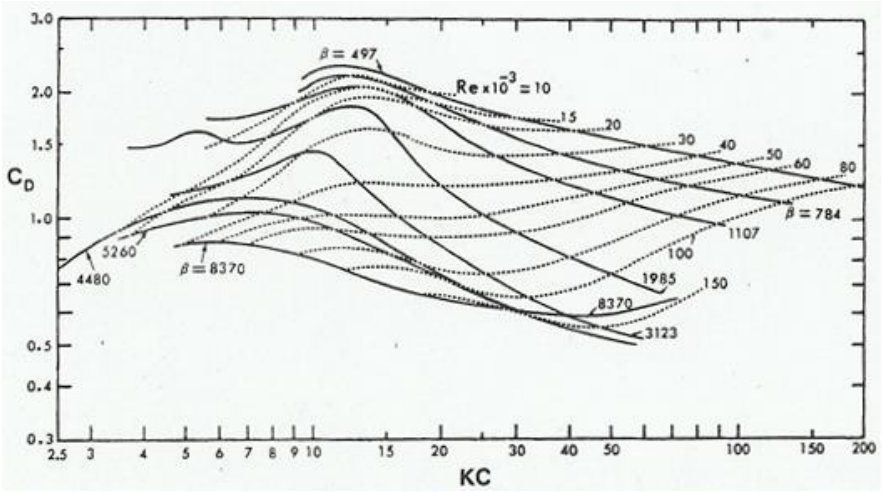



Figura 3.9 – Coeficiente de resistência para diferentes valores de $\beta = Re/KC$ para um cilindro liso, *(Sharpkaya, 1976).*

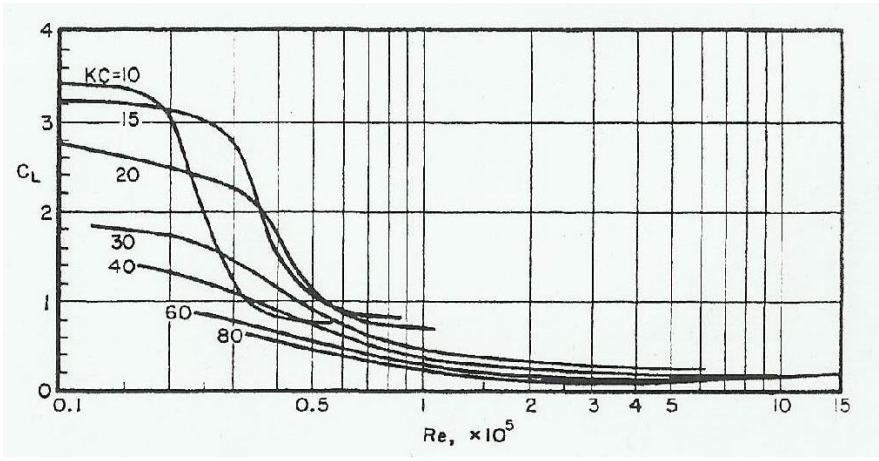



Figura 3.10 – Coeficiente de sustentação para diferentes valores de $\beta = Re/KC$ para um cilindro liso, *(Sharpkaya, 1976).*

Nos seus estudos experimentais, Sharpkaya (1977) testou também, entre outros, o efeito da rugosidade exterior da estrutura cilíndrica e o efeito de proximidade a uma barreira sólida nos coeficientes de resistência e de inércia, Figuras 3.11 e 3.12

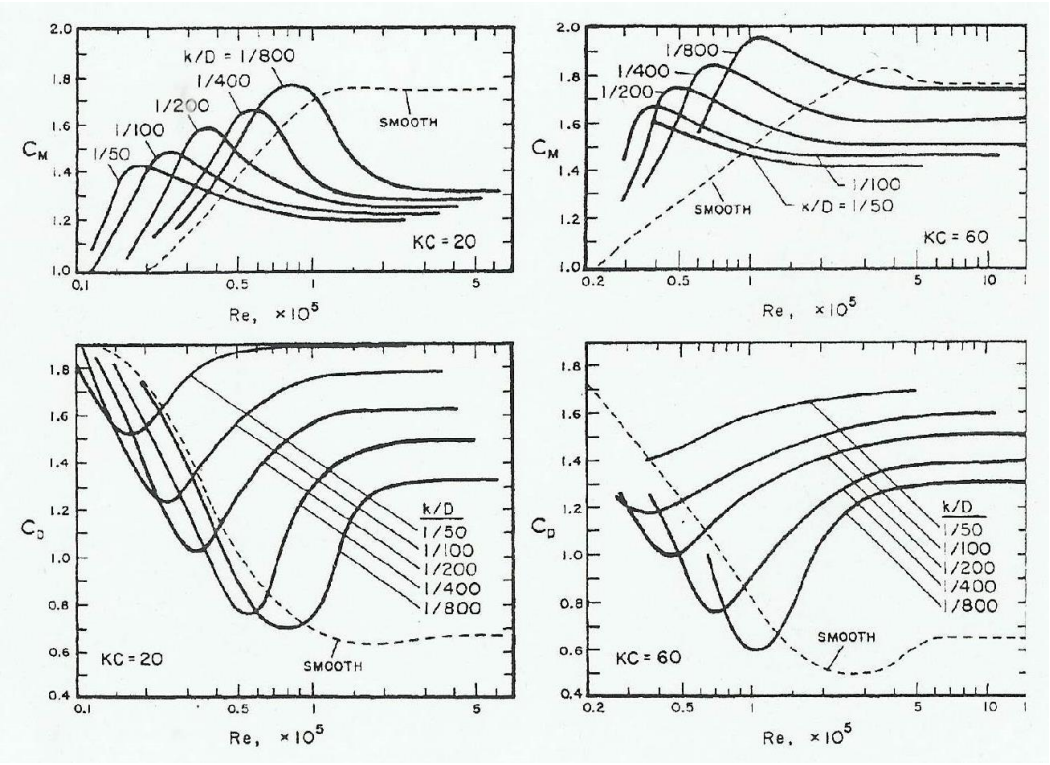



Figura 3.11 – Efeito da rugosidade exterior do cilindro nos coeficientes de resistência e inércia, *(Sharpkaya, 1976).*

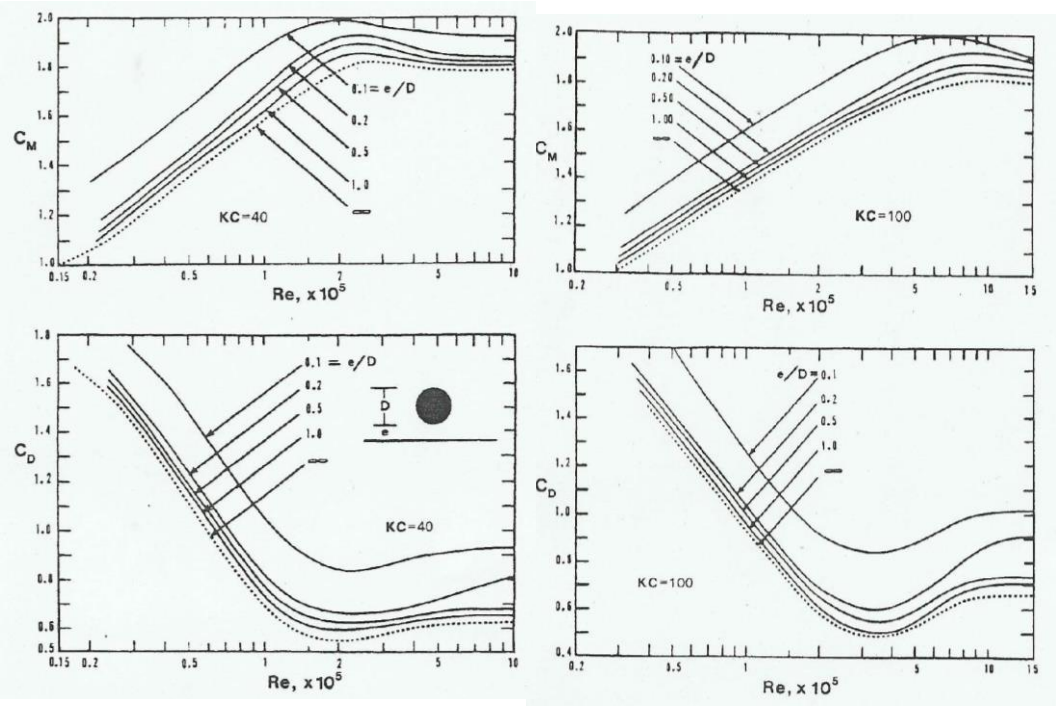



Figura 3.12 – Efeito de proximidade da estrutura cilíndrica a um limite sólido nos coeficientes de resistência e inércia, *(Sharpkaya, 1976).*

Tal como é possível observar pelos resultados experimentais de Sharpkaya a dispersão de resultados experimentais para os coeficientes de resistência, inércia e sustentação é elevada. Muitos outros estudos foram realizados com o propósito de compreender a variação desses coeficientes, permanecendo, no entanto, uma grande dificuldade em selecionar, em âmbito de projeto, os coeficientes adequados às condições locais de um caso específico. Em projetos de elevado risco, associados a emissários submarinos de grandes dimensões, a realização de modelos físicos que reproduzam as condições específicas daquele projeto é inevitável. Um dos métodos para obtenção dos coeficientes de resistência e inércia consiste na aplicação do método dos mínimos quadrados entre as forças medidas em modelo físico e as forças estimadas pela Fórmula de Morison (*Jørgen Fredsøe et al., 1997).*

Considere-se que $F_m(t)$ representa a força medida em modelo físico, no sentido do escoamento e que $F_p(t)$ representa a força no sentido do escoamento determinada pela Fórmula de Morison.

$$F_p(t) = \frac{1}{2}\rho C_D D U(t)|U(t)| + \rho C_M A\left(\frac{\delta U(t)}{\delta t}\right) \tag{3.18}$$

Admita-se que,

$$f_d = \frac{1}{2}\rho C_D D \quad ; \quad f_i = \rho C_M A \tag{3.19}$$

Então

$$F_p(t) = f_d U(t)|U(t)| + f_i\left(\frac{\delta U(t)}{\delta t}\right) \tag{3.20}$$

Se $\epsilon^2$ representar a soma das diferenças entre as forças estimadas pela fórmula de Morison e as forças medidas em modelo físico ao longo do tempo, então,

$$\epsilon^2 = \sum\left[F_p(t) - F_m(t)\right]^2 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \epsilon^2 = \sum\left[f_d U(t)|U(t)| + f_i\left(\frac{\delta U(t)}{\delta t}\right) - F_m(t)\right]^2 \tag{3.21}$$

Os coeficientes de resistência e inércia mais representativos da realidade serão obtidos quando $\epsilon^2$ for mínimo, isto é,

$$\frac{\delta\epsilon^2}{\delta f_d} = 0 \Leftrightarrow f_d\left(\sum U^4(t)\right) + f_i\left(\sum\left(U(t)|U(t)|\left(\frac{\delta U(t)}{\delta t}\right)\right)\right) = \sum\left(U(t)|U(t)|F_m(t)\right) \tag{3.22}$$

$$\frac{\delta\epsilon^2}{\delta f_i} = 0 \Leftrightarrow f_d\left(\sum\left(U(t)|U(t)|\left(\frac{\delta U(t)}{\delta t}\right)\right)\right) + f_i\left(\sum\left(\frac{\delta U(t)}{\delta t}\right)^2\right) = \sum\left(\frac{\delta U(t)}{\delta t}F_m(t)\right) \quad (3.23)$$

*Fredsøe et al., 1997,* resolveram as equações 3.22 e 3.23 em ordem a $C_D$ e $C_M$, respetivamente, obtendo,

$$C_D = \frac{8}{3\pi}\left(\frac{1}{\rho D U_m^2}\right)\int_0^{2\pi} F_m \cos(wt)\,|\cos(wt)|\,d(wt) \quad (3.24)$$

$$C_M = -\frac{2KC}{\pi^3}\left(\frac{1}{\rho D U_m^2}\right)\int_0^{2\pi} F_m \sin(wt)\,d(wt) \quad (3.25)$$

Deste modo, conhecendo as séries temporais da força, no sentido do escoamento, no modelo físico do emissário submarino, é possível determinar os coeficientes de inércia e resistência mais corretos para um dado caso real.

Para emissários de pequenas dimensões, a utilização de valores de referência, por ventura mais conservativos do que os que seriam estimados por modelação física, não se traduz num incremento significativo nos custos associados às estruturas de proteção estrutural, nomeadamente, no volume de betão a utilizar nos anéis de contrapeso. Por esse motivo, a prática corrente nesse tipo de emissários, consiste na aplicação da teoria linear de ondas, ou outra teoria de ordem superior, para determinação da gama de velocidades e acelerações expectáveis em torno do emissário. É assim possível o cálculo da variação no número de Reynolds e do número de Keulegan-Carpenter do escoamento em torno do emissário e, por comparação com os valores de referência conhecidos, por exemplo, dos estudos de Sharpkaya (1976), determinar a gama de variação expectável para os coeficientes de inércia, resistência e sustentação. Naturalmente, o grau de incerteza associado a tal metodologia é elevado, devendo por esse motivo ser adotada uma postura conservativa na seleção dos coeficientes a aplicar no processo de dimensionamento.

### 3.2.7. Efeito da variação da velocidade e aceleração do escoamento nas forças atuantes.

De acordo com a fórmula de Morison, as forças geradas numa estrutura cilíndrica por ação de um escoamento do tipo oscilatório resulta da sobreposição de dois efeitos, nomeadamente, forças de resistência e forças de inércia. As forças de inércia dependem, essencialmente, da aceleração do escoamento em torno da estrutura, isto é, em escoamentos uniformes as forças de inércia são nulas. Já as forças de resistência dependem da velocidade do escoamento, sendo apenas nulas na ausência de escoamento.

Tal como é possível constatar por aplicação da Teoria Linear de Ondas, a velocidade máxima de uma partícula de água ocorre em instantes distintos da aceleração máxima dessa mesma partícula, Figura 3.13.

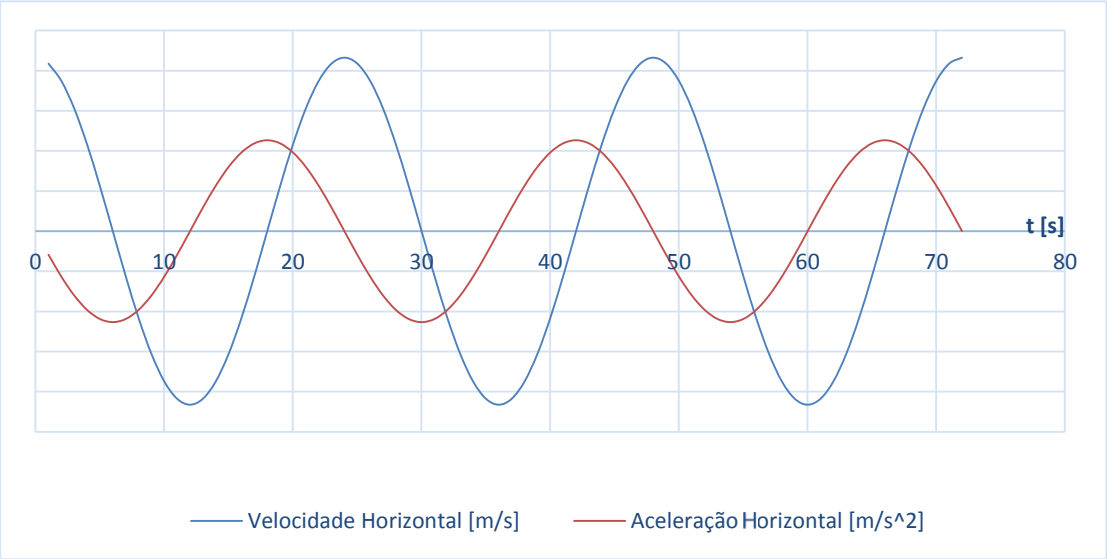



Figura 3.13 – Variação da Velocidade e Aceleração horizontal de uma partícula de água de acordo com a teoria linear de ondas

Então, sendo,

$$F_p(t) = \frac{1}{2}\rho C_D D U(t)|U(t)| + \rho C_M A\left(\frac{\delta U(t)}{\delta t}\right) \tag{3.26}$$

o instante em que a estrutura cilíndrica está submetida à força máxima não pode ser obtido de forma imediata, uma vez que não corresponde ao instante em que a força de resistência ou a força de inércia são máximas, isto é, ao instante em que ocorre a velocidade máxima do escoamento ou o instante em que ocorre a aceleração máxima do escoamento, mas sim, no instante em que o efeito combinado de ambas é máximo. Em rigor, deveria ainda ser analisado um outro fenómeno que ocorre simultaneamente. À medida que a velocidade do escoamento varia também o número de Reynolds e o número de Keulegan-Carpenter variam e sendo os coeficientes de resistência e inércia dependentes de Re e KC, então, também para estes coeficientes deveria ser adotado um comportamento dinâmico. Na realidade, do ponto de vista de dimensionamento, apenas interessa considerar o valor máximo que esses coeficientes adquirem ao longo da passagem de uma onda.

É possível deduzir uma expressão que caracteriza o instante em que a força sobre o emissário submarino é máxima, equação 3.52. No entanto, tal como é possível constatar pelos dados experimentais de Sharpkaya (1976), os coeficientes de resistência, inércia e sustentação são fortemente não lineares perante a variação do número de Keulegan-Carpenter e Reynolds. Como tal, determinar o instante em que a força sobre o emissário é máxima e reduzir a análise a esse instante não é aconselhável. Existe interesse em descrever o escoamento em torno do emissário ao longo do tempo por forma a compreender qual a gama de variação de KC e Re ao longo da passagem de um conjunto de ondas.

### 3.2.8. DIMENSIONAMENTO DE ANÉIS DE CONTRAPESO DE BETÃO

O peso próprio da conduta de PEAD que constitui o emissário submarino é, por si só, insuficiente para garantir a estabilidade da estrutura face à ação da agitação marítima. Assim, é necessário acoplar à conduta elementos de contrapeso, geralmente em betão. A utilização de contrapesos de betão com formato de anel permite por um lado aumentar o peso global da estrutura, impedindo o seu arrastamento quando sujeita à ação da agitação marítima, e por outro permite elevar a conduta do fundo marítimo garantindo que $e/d \neq 0$, que, tal como referido anteriormente, induz aumentos substanciais nos coeficientes de resistência, inércia e sustentação e, consequentemente, nas forças a que o emissário está sujeito. O formato destes elementos de betão é muito variável, Figura 3.14, existindo um compromisso entre a utilização de elementos de contrapeso com formas hidrodinâmicas e a simplificação dos processos construtivos, nomeadamente, dos elementos de cofragem.

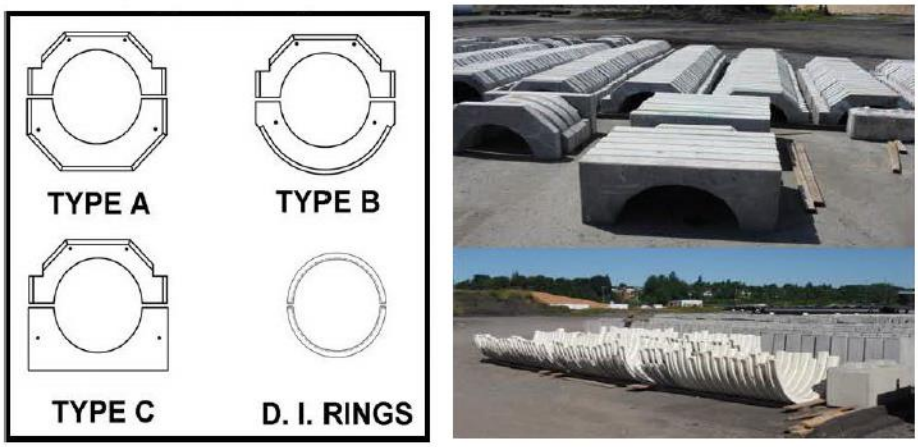



Figura 3.14 – Diversos tipos de anéis de betão para emissários submarinos, *Haskell et al. (2011)*

Os contrapesos de betão representados na figura 3.14 foram utilizados no projeto de um emissário associado a uma ETAR que realiza o tratamento das águas residuais na zona de noroeste da área metropolitana de Seattle, Washington, EUA. O emissário associado à ETAR deverá descarregar o efluente residual no sistema estuarino Puget Sound, cujo perfil longitudinal dos fundos se encontra representado na figura 3.15. Serve o presente exemplo para compreender quais as motivações que levaram os projetistas a considerar diversos tipos de anéis de contrapeso. Na zona inicial, o emissário encontra-se parcialmente enterrado. Assim, a forma dos anéis de betão do tipo A foi concebida para mobilizar, tanto quanto possível, o impulso passivo do solo adjacente. Na zona seguinte o emissário é apenas assente sobre o fundo e o forte declive daquela zona é propicio à ocorrência de deslizamento de solo sendo por isso adotados anéis do tipo B, com o objetivo de minimizar a obstrução à passagem do solo na eventualidade de ocorrência de um deslizamento. No último trecho, os anéis de betão foram concebidos para garantir a máxima estabilidade do difusor e sobretudo evitar movimentos que alterassem a orientação do difusor, utilizando-se assim anéis do tipo C que garantem uma maior estabilidade na base face à possibilidade de deslocamentos transversais do difusor.

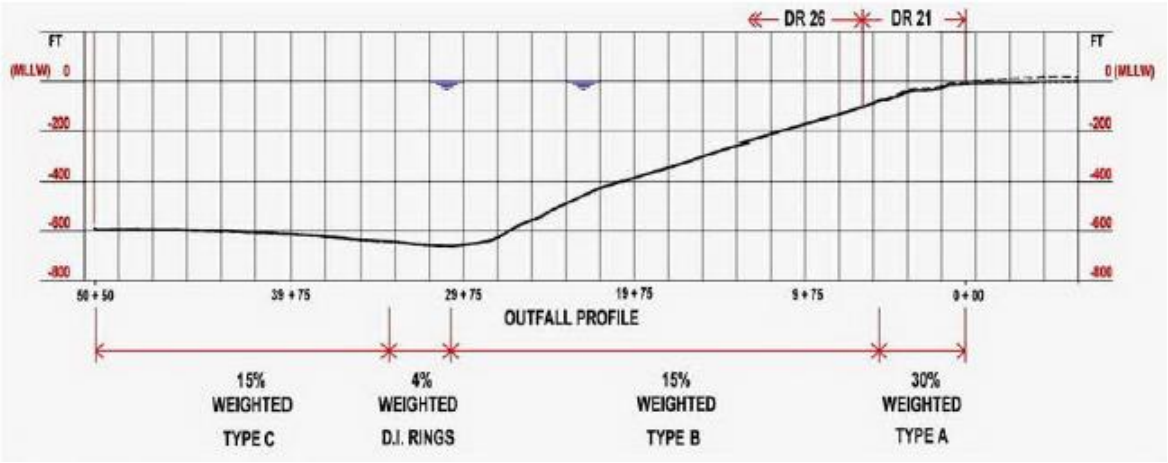



Figura 3.15 – Exemplo de aplicação de diversos tipos de anel a um emissário submarino, *Haskell et al. (2011)*

Apresentam-se ainda, nas figuras 3.16 e 3.18 outros tipos de anéis de betão, com referência na figura 3.17 à disposição típica das armaduras para anéis destinados a emissários de grande diâmetro.

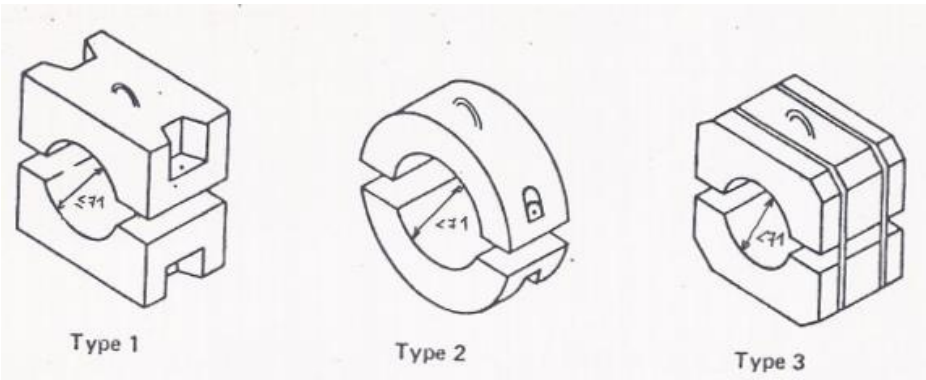



Figura 3.16 – Diversos tipos de anéis de betão para emissários submarinos de diâmetro exterior inferior a 710 mm, *Europlast*

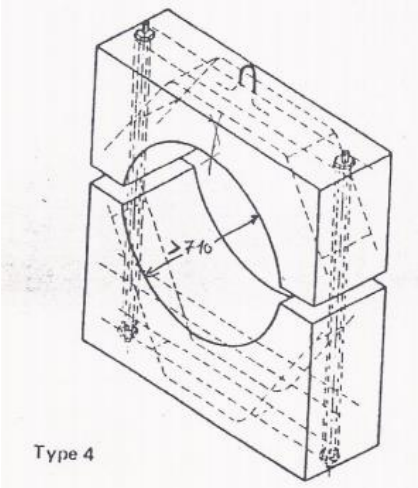



Figura 3.17 – Anel tipo de betão armado para emissários submarinos de diâmetro exterior superior a 710 mm, *Europlast*

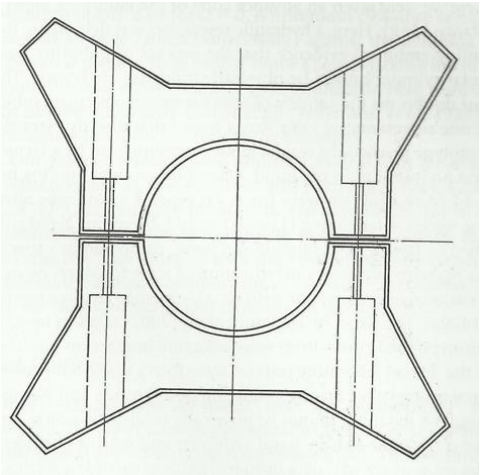


Figura 3.18 – Anel tipo de betão para emissários submarinos em PEAD, *Grace 2009*

Uma vez determinadas as ações sobre o emissário submarino e definida a forma geométrica a adotar para os anéis de contrapeso será necessário proceder ao cálculo de estabilidade do emissário submarino, por forma a determinar qual o peso a adotar para os anéis. Tal como se irá demonstrar posteriormente, por aplicação ao caso de estudo da Ilha da Madeira, apesar de se calcular individualmente o peso de cada anel, a utilização de diversos tipos de anel num emissário submarino constitui uma solução antieconómica uma vez que os custos associados à execução de diversos elementos de cofragem constitui custos elevados. Dependendo do comprimento do emissário, poderá ser mais económico adotar uma solução em que todos os anéis são iguais, ou, por exemplo, utilizar apenas 2 tipos de anel. Em emissários muito extensos e de grandes profundidades poderá ser mais económico utilizar mais do que 2 tipos de anel, devendo cada caso ser analisado individualmente. Tal como é possível constatar por aplicação da teoria linear de ondas, sendo o emissário uma estrutura assente sobre o fundo marítimo, o diagrama de forças que sobre ele atua deverá decrescer significativamente à medida que a profundidade aumenta, Figura 3.19. Assim, a zona menos profunda do emissário, após a zona de rebentação, será o trecho do emissário mais solicitado, pelo menos na extensão protegida por contrapesos de betão. Naturalmente, na zona de rebentação, os esforços serão muito mais intensos e de curta duração, razãoela qual, convencionalmente, essa zona do emissário se encontra enterrada ou protegida com enrocamento.

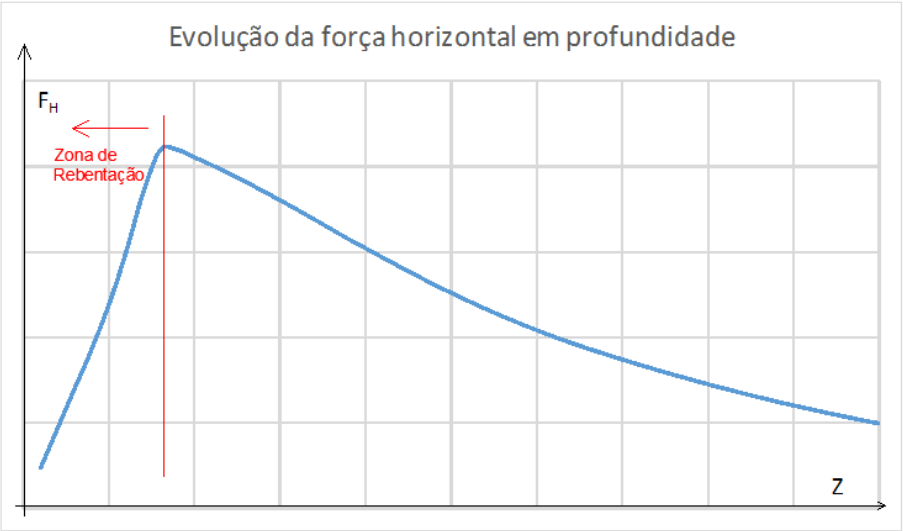



Figura 3.19 – Evolução típica da força horizontal atuante sobre um emissário submarino em profundidade

Na metodologia de análise de estabilidade apresentada, cada anel de contrapeso será avaliado individualmente. Admitindo que todos os anéis estão espaçados de uma distância $e$ [m], então, cada anel deverá ser capaz de resistir às solicitações dos trechos de conduta a "montante" e a "jusante" da sua posição de comprimento $e/2$, Figura 3.20.

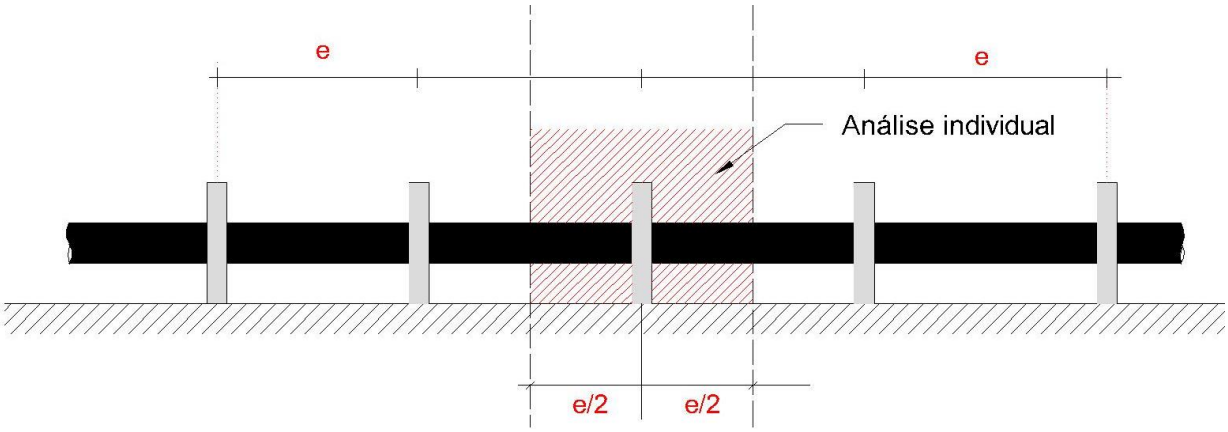



Figura 3.20 – Zona de influência para análise individual de um anel de contrapeso de betão

A aplicação da Teoria Linear de Ondas e da Fórmula de Morison permite conhecer, para a cota a que se localiza o anel em estudo, qual a força horizontal e vertical por metro linear de emissário expectável àquela profundidade. A conduta que constitui o emissário, quando colocada por aplicação da metodologia construtiva "*Float and Sink*" deverá, aquando da colocação do emissário, ser enchida com água doce, com menor densidade do que a água marítima. Durante o funcionamento corrente do emissário, o peso volúmico do efluente a descarregar é ligeiramente inferior ao peso volúmico da água do mar. Também o peso volúmico do PEAD, cerca de $8.8\ kN/m^3$, é inferior ao peso volúmico da água do mar. Como resultado, o conjunto constituído pela conduta e pelo efluente que esta transporta, terá tendência a ascender, isto é, será gerada uma força de flutuação que terá de ser suportada pelos anéis de betão.

Assim, de um modo global, a análise de estabilidade de um anel de contrapeso deverá atender às forças horizontais e verticais provocadas pela existência de um escoamento em torno do emissário submarino, e ainda a uma força de flutuação, $F_b$, caso o material da conduta possua um peso volúmico inferior ao da água do mar, como é o caso dos emissários submarinos realizados em PEAD.

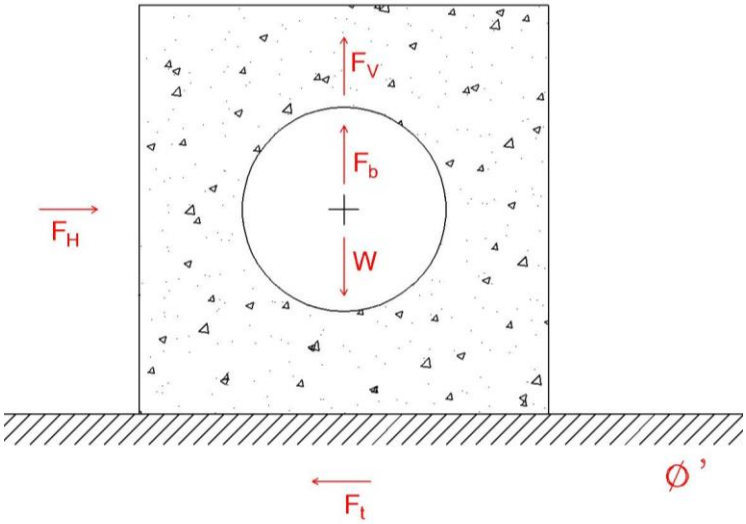



Figura 3.21 – Solicitações sobre um anel de contrapeso de betão

Então, de acordo com a Figura 3.21, a estabilidade ao deslizamento de um anel de contrapeso deverá ser dada por,

$$FS = \frac{F_{T_{máx}}}{F_T} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow FS = \frac{(W_b - F_V)\tan(\phi')}{F_H} \tag{3.27}$$

em que $FS$ $[-]$ representa o fator de segurança ao deslizamento, $W_b$ $[kN]$ o peso total submerso do conjunto associado a um anel de betão e à extensão de emissário na sua área de influência, $F_H$ $[kN]$ a resultante da força horizontal, $F_V$ $[kN]$ a resultante da força vertical, $\phi'[°]$ o ângulo de atrito na base do anel de betão.

Então, tendo por objetivo determinar o peso necessário para cada bloco por forma a garantir o coeficiente de segurança desejado vem,

$$FS \cdot F_H = (W_b - F_V)\tan(\phi') \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow W_b = \frac{FS \cdot F_H}{\tan(\phi')} + F_V \tag{3.28}$$

Uma vez conhecido o peso submerso do conjunto associado a um anel de contrapeso de betão e à extensão de emissário na sua linha de influência, é possível calcular o peso "emerso" do anel de betão da seguinte forma,

$$W_b = W_{b_{betão}} + W_{b_{conduta}} + W_{b_{efluente}} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow W_b = W_{betão} \cdot \frac{\gamma_{betão} - \gamma_{\mathrm{w}}}{\gamma_{betão}} + W_{conduta} \cdot \frac{\gamma_{conduta} - \gamma_w}{\gamma_{conduta}} + W_{efluente} \cdot \frac{\gamma_{efluente} - \gamma_w}{\gamma_{efluente}} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow W_{betão} = \left[W_b - W_{u.c.} \cdot e \cdot \frac{\gamma_{conduta} - \gamma_w}{\gamma_{conduta}} - \frac{\pi D^2}{4} \cdot e \cdot \frac{\gamma_{efluente} - \gamma_w}{\gamma_{efluente}}\right] \cdot \frac{\gamma_{betão}}{\gamma_{betão} - \gamma_w} \qquad (3.29)$$

em que $W_{b_{betão}}[kN]$ representa o peso submerso do anel de betão, $W_{b_{conduta}}[kN]$ o peso submerso da conduta, $W_{b_{efluente}}[kN]$ o peso submerso do volume de efluente no interior do emissário, $W_{betão}[kN]$ o peso do anel de betão, $W_{conduta}$ $[kN]$ o peso da conduta, $W_{efluente}[kN]$ o peso do volume de efluente no interior do emissário, $\gamma_{betão}$ $[kN/m^3]$ o peso volúmico do betão, $\gamma_{conduta}[kN/m^3]$ o peso volúmico do material da conduta, $\gamma_{efluente}$ $[kN/m^3]$ o peso volúmico do efluente no interior do emissário, $W_{u.c.}[kN/m]$ o peso da conduta por metro linear, $e$ $[m]$ o espaçamento entre anéis de contrapeso e D [m] o diâmetro da conduta.

Note-se que, sendo a conduta realizada em PEAD e o efluente mais leve do que a água do mar, resulta o aparecimento de uma força de flutuação que provoca um agravamento do peso necessário para cada anel, tal como é possível observar pela equação 3.29.

### 3.2.9. METODOLOGIA DE CÁLCULO

Uma vez determinadas as condições de agitação marítima de dimensionamento, nomeadamente, a velocidade de corrente de projeto, a altura de onda, período e comprimento de onda de projeto, deverá ser determinada a "zona de rebentação". A zona de rebentação será definida como sendo o intervalo de profundidades, desde 0,00 m ao ZH, em que fisicamente é impossível a propagação de uma onda com a altura de onda de projeto sem que ocorra o fenómeno de rebentação. De acordo com o critério de rebentação de Miché,

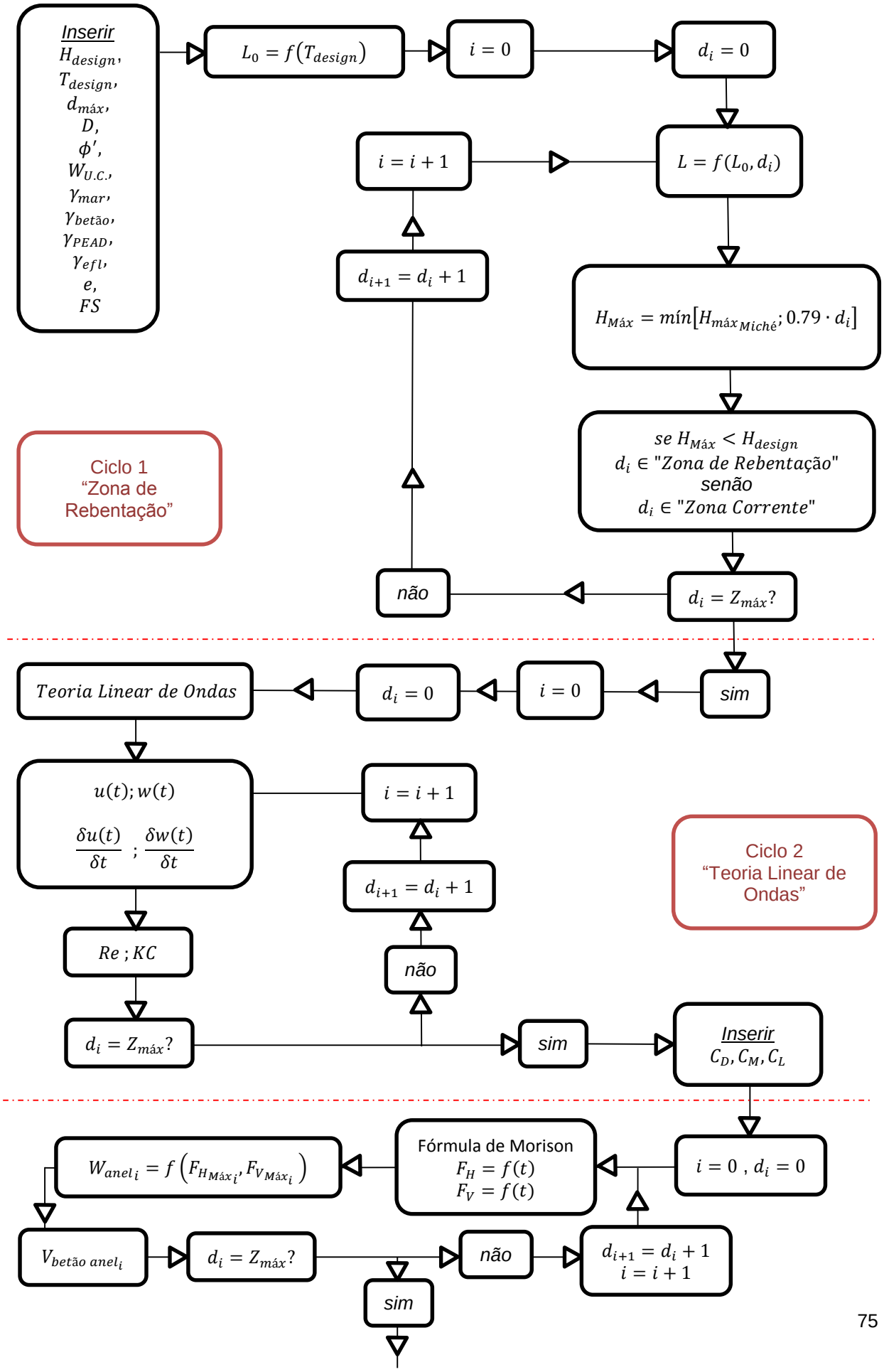
$$\left(\frac{H}{L}\right)_{Máx} = 0.1418 \cdot \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \tag{3.30}$$

em que $(H/L)_{Máx}$ representa a declividade máxima, $L\ (m)$ o comprimento de onda, $H\ (m)$ a altura de onda e $d\ (m)$ a profundidade. Será ainda considerado o critério de rebentação dado por,

$$H_{Máx} = 0.78 \cdot d \tag{3.31}$$

sendo adotada a menor altura de onda resultante de ambos os critérios, isto é, adotando-se o critério que conduz a uma zona de rebentação mais extensa e consequentemente a uma maior extensão de emissário protegida por enrocamento. Apenas deverá ser considerada a menor altura de onda para o cálculo da extensão da zona de rebentação. Para o cálculo estrutural da proteção de enrocamento deverá ser adotada a maior altura de onda resultante da aplicação de ambos os critérios de rebentação, por forma a obter sempre soluções pelo lado da segurança.

Uma vez definida a extensão de emissário submarino localizada fora da zona de rebentação é possível calcular o peso dos anéis de betão que irão estabilizar o emissário e garantir proteção estrutural face à acção da agitação marítima. Conhecidas as características do escoamento em torno do emissário, resultado da aplicação da teoria linear de ondas, será possível definir o intervalo em que oscilará o número de Reynolds e de Keulegan-Carpenter e consequentemente poder-se-á definir, com base nos dados experimentais de Sharpkaya, ou outros, o valor máximo do coeficiente de resistência, inércia e sustentação. É assim possível aplicar a Fórmula de Morison e conhecer o diagrama de solicitações ao longo do emissário submarino e posteriormente dimensionar os anéis de contrapeso de betão, Figura 3.22. A aplicação da referida metodologia de cálculo conduz a uma solução altamente otimizada, embora simultaneamente anti-económica. Deverá por fim ser estabelecido um conjunto de cenários de uniformização da solução, isto é, um conjunto de cenários que minimize o número de anéis diferentes ao longo do emissário. Para cada um dos cenários será calculado o volume de betão dispendido, devendo ser encontrado um equilíbrio económico entre o emprego de um maior volume de betão em contrapartida com a necessidade de executar anéis com geometrias distintas, isto é, a necessidade de utilizar um maior número de cofragens. A metodologia apresentada na figura 3.22 considera quatro cenários possíveis, nomeadamente, um cenário em que todos os anéis são diferentes, um cenário em que todos os anéis são iguais, um cenário em que apenas são adotados dois tipos diferentes de anéis e um cenário em que a geometria dos anéis é modificada a cada 100 m.


Inserir
$H_{design}$, $T_{design}$, $d_{máx}$, $D$, $\phi'$, $W_{U.C.}$, $\gamma_{mar}$, $\gamma_{betão}$, $\gamma_{PEAD}$, $\gamma_{efl}$, $e$, $FS$
$L_0 = f(T_{design})$
$i = 0$
$d_i = 0$
$L = f(L_0, d_i)$
$H_{Máx} = mín[H_{máx_{Miché}}; 0.79 \cdot d_i]$
se $H_{Máx} < H_{design}$
$d_i \in$ "Zona de Rebentação"
senão
$d_i \in$ "Zona Corrente"
$d_i = Z_{máx}$?
não
$d_{i+1} = d_i + 1$
$i = i + 1$
Ciclo 1
"Zona de Rebentação"
sim
$i = 0$
$d_i = 0$
Teoria Linear de Ondas
$u(t); w(t)$
$\frac{\delta u(t)}{\delta t}$ ; $\frac{\delta w(t)}{\delta t}$
$Re$ ; $KC$
$d_i = Z_{máx}$?
não
$d_{i+1} = d_i + 1$
$i = i + 1$
sim
Ciclo 2
"Teoria Linear de Ondas"
Inserir
$C_D, C_M, C_L$
$i = 0$ , $d_i = 0$
Fórmula de Morison
$F_H = f(t)$
$F_V = f(t)$
$W_{anel_i} = f\left(F_{H_{Máx_i}}, F_{V_{Máx_i}}\right)$
$V_{betão\ anel_i}$
$d_i = Z_{máx}$?
não
$d_{i+1} = d_i + 1$
$i = i + 1$
sim

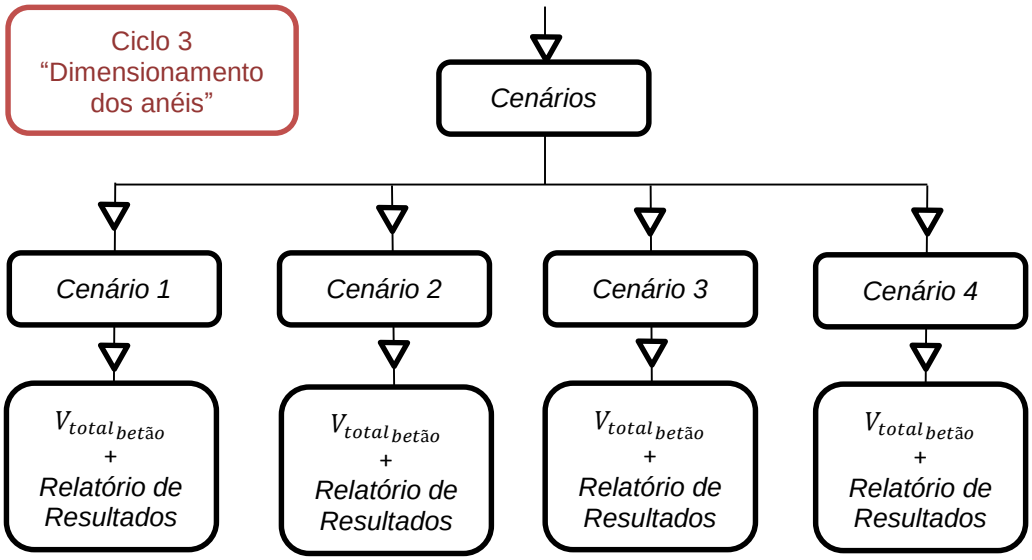



Figura 3.22 – Metodologia de cálculo de anéis de contrapeso de betão para um emissário submarino

### 3.2.10. Formula de Morison aplicada a emissários submarinos.

Tal como é possível cosntatar pela análise da metodologia de cálculo apresentada na Figura 3.22, o volume de cálculo associado à determinação da variação das forças que atuam sobre o emissário ao longo do tempo é elevado. Nessa metodologia, a principal vantagem centra-se na possibilidade de utilização de teorias de ondas de ordem superior à linear, caso o projetista assim o deseje. No entanto, se for admitida como válida a teoria linear de ondas, *Taveira Pinto* procedeu ao desenvolvimento da fórmulação inicial de Morison para o caso de emissários submarinos, não só tornando a sua aplicação mais expedita como também validando a aplicabilidade da referida fórmula, inicialmente desenvolvida para o cálculo de estruturas verticais, ao caso dos emissários submarinos.

Admitindo a aplicabilidade da Fórmula de Morrison, para um elemento de altura $\delta Z$,

$$\delta F(t) = \delta F_I + \delta F_D \tag{3.32}$$

Sendo,

$$\delta F_I = C_M \, \rho \, dV \, \frac{\delta U}{\delta t} \tag{3.33}$$

$$\delta F_D = \frac{1}{2} C_D \, \rho \, \delta A \, U^2 \tag{3.34}$$

em que $C_M$ representa o coeficiente de inércia, $\rho$ o peso volúmico do fluído, $\delta U/\delta t$ a aceleração de um flúido de viscosidade desprezável e incompressível, $C_D$ o coeficiente de resistência, U a velocidade do escoamento.

As equações 3.33 e 3.34 representam as forças de inércia e resistência atuantes sobre a unidade de volume elementar $\delta V$ e a unidade de área elementar $\delta A$, respetivamente.

Admitindo como válida a Teoria Linear de Airy, considera-se a seguinte função potencial de velocidades:

$$\phi(u,z,t) = A\cosh\big(K(z+d)\big)\,\mathrm{sen}(\,kx - wt) \tag{3.35}$$

em que k representa o número de onda $(2\Pi/L)$ e $w$ a frequência $(2\Pi/T)$.

Admitindo para a superfície livre um perfil sinosoidal duplamente periódico no tempo e no espaço

$$\phi\ (u,z,t) = \frac{ag}{w}\,\frac{1}{\cosh(kd)}\cosh(k(z+d)\,\mathrm{sen}(kx - wt) \tag{3.36}$$

Então a componente horizontal da velocidade, será igual a a

$$U = \frac{\partial\emptyset}{\partial u} = \frac{ag}{w}\ k\ \frac{1}{cosh(kd)}\ cosh\ \ (k(z+d))\,cos\ \ (kx - wt) \tag{3.37}$$

e a componente horizontal da aceleração,

$$\frac{dU}{dt} = a\ g\ k\ \frac{1}{\cosh(kd)}\ \cosh\ \ (k(z+d))\sin\ \ (ku - wt) \tag{3.38}$$

Assim, considerando a aplicação da fórmula de Morison a um emissário submarino, Figura 3.23,

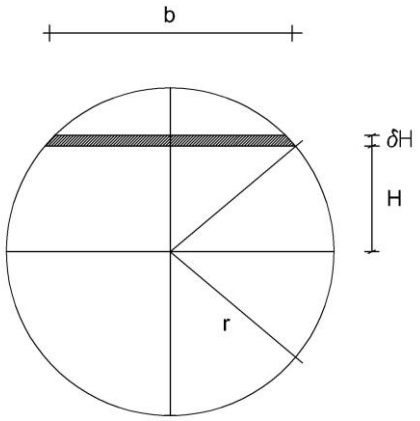



Figura 3.23 – Aplicação da Fórmula de Morison a um emissário Submarino

Vem,

$$\frac{H}{r} = \cos\theta \tag{3.39}$$

$$b = 2\,r\cos\theta \;\Leftrightarrow b = 2H \tag{3.40}$$

Assim, e por metro de comprimento de exutor

$$\begin{aligned} dV &= 2HdH \\ dA &= dH \end{aligned} \tag{3.41}$$

A expressão da Fórmula de Morrison será então,

$$d\,F(t) = \; C_M\,\rho\,dV\frac{dU}{dt} + \frac{1}{2}\,C_D\,\rho\,dA\,U|U| \tag{3.42}$$

Aplicando as expressões da Teoria Linear de Airy vem,

$$\begin{aligned} d\,F(t) = \; & C_M\,\rho\,(2HdH)\left[a\,g\,k\frac{1}{\cosh\,(kd)}\cosh\left(k\left(-d+e+\frac{D}{2}+H+d\right)\right)\text{sen}\;(-wt)\right] + \\ & +\frac{1}{2}\,C_D\,\rho\,dH\left[\left(\frac{ag}{w}\;k\frac{1}{\cosh(kd)}\right)^2 cosh^2\left(k\left(e+\frac{D}{2}+H\right)\right)\cos(-wt)\cos\;(-wt)\right] \end{aligned} \tag{3.43}$$

Então a força actuante no instante *t* será

$$\begin{aligned} F(t) = \; & -\,C_M\,\rho\,a\,g\,k\frac{2}{\cosh\;(kd)}\text{sen}(wt)\int_{-D/2}^{D/2} H\cosh\left(k\left(e+\frac{D}{2}+H\right)\right)\,d\,+ \\ & +\frac{1}{2}\,C_D\,\rho\,\left(\frac{ag}{w}k\frac{1}{\cos h\,(kd)}\right)^2\cos\;(wt)|\cos(w\,t)|\int_{-D/2}^{D/2}\cosh^2\;\big(k(e+D/2+H)\big)\;dH \end{aligned} \tag{3.44}$$

Resolvendo o integral relativo às forças de resistência vem,

$$\int_{-D/2}^{D/2} cosh^2\;\left(k\left(e+\frac{D}{2}+H\right)\right)dH =$$

$$= \int_{-D/2}^{D/2}\left[\frac{e^{k(e+D/2+H)} + \; e^{-k(e+D/2+H)}}{2}\right]^2\;dH =$$

$$= \frac{1}{4}\int_{-D/2}^{D/2}\left(e^{2k(e+D/2+H)} + 2 + e^{-2k(e+D/2+H)}\right)\, dH =$$

$$= \frac{1}{4}\left[\left[\frac{1}{2k}\, e^{2k(e+D/2+H)}\right]_{-D/2}^{D/2} + 2D + \left[-\frac{1}{2k}\, e^{-2k(e+D/2+H)}\right]_{-D/2}^{D/2}\right] =$$

$$= \frac{1}{4}\left[\left(\frac{1}{2k}\left(e^{2k(e+D)} - e^{2ke}\right)\right) + 2D + \left(-\frac{1}{2k}\left(e^{-2k(e+D)} - e^{-2ke}\right)\right)\right] =$$

$$= \frac{1}{4}\left[\frac{1}{2k}\left(e^{2k(e+D)} - e^{-2k(e+D)} - e^{2ke} + e^{-2ke}\right) + 2D\right] =$$

$$= \frac{1}{4}\left[\frac{1}{k}\left(\operatorname{senh}\left(2k(e+D)\right) - \operatorname{senh}(2ke)\right) + 2D\right] \tag{3.45}$$

Resolvendo o integral relativo às forças de inércia vem,

$$\int_{-D/2}^{D/2} H\cosh(k(e + D/2 + H)\,)dH = \tag{3.46}$$

Integrando por partes,

$$\int uv' = [uv] - \int u'v \tag{3.47}$$

Assim:

$$= \left[H\frac{1}{k}\operatorname{senh}\left(k\left(e + \frac{D}{2} + H\right)\right)\right]_{-D/2}^{D/2} - \int_{-\frac{D}{2}}^{\frac{D}{2}} \frac{1}{k} senh\ \left(k(e + D/2 + H)\right)dH$$

$$= \frac{D}{2k}\operatorname{senh}\left(k(e+D)\right) + \frac{D}{2k}\operatorname{senh}(ke) - \left[\frac{1}{k^2}\cosh\left(k(e + D/2 + H)\right)\right]_{-D/2}^{D/2}$$

$$= \frac{D}{2k}\operatorname{senh}\left(k(e+D)\right) + \frac{D}{2k}\operatorname{senh}(ke) - \left(\frac{1}{k^2}\cosh(ke) - \frac{1}{k^2}\cosh\ (ke)\right)$$

$$= \frac{D}{2k}\left[\operatorname{senh}\left(k(e+D)\right) + senh(ke)\right] - \frac{1}{K^2}\left[\cosh\left(k(e+D)\right) - \cosh(ke)\right] \tag{3.48}$$

Então, expressão para o cálculo da força actuante fica:

$$F(t) = -C_M\, \rho\, a\, g\, \frac{\sinh(wt)}{\cosh(kd)}\left[D\left[\operatorname{senh}\left(k(e+D)\right) + \operatorname{senh}(ke)\right] - \frac{2}{k}\left[cosh\left(k\,(e+D)\right) - \cosh(ke)\right]\right] +$$

$$+\frac{1}{2}\, C_D\rho\, \left(\frac{ag}{w}k\, \frac{1}{cosh^2(kd)}\right)^2 \cos(wt)|\cos(wt)|\left[\frac{1}{4k}\left[senh\left(2k(e+D)\right) - senh(2ke)\right] + 2D\right] \tag{3.49}$$

Considerando por simplicidade,

$$\psi_1 = -C_M\rho ag\frac{1}{\cosh(kd)}\left[D\left[\operatorname{senh}\left(k(e+D)\right) + senh(ke)\right] - \frac{2}{k}\left[cosh\left(k(e+D)\right) - \cosh(ke)\right]\right]$$

$$\psi_2 = \frac{1}{2}C_D\rho\, \left(\frac{ag}{w}k\frac{1}{cosh^2(kd)}\right)^2\left[\frac{1}{4k}\left[senh\left(2k(e+D)\right) - \operatorname{senh}(2ke)\right] + 2D\right] \tag{3.50}$$

Resultando por fim,

$$F(t) = \psi_1 sen(wt) + \psi_2\, cos(wt)\, |cos(wt)| \tag{3.51}$$

A dedução de uma expressão simplificada que incorpora a Teoria Linear de Ondas e a Fórmula de Morison, permitiu ainda ao autor deduzir o instante em que a força total, no sentido do escoamento é máxima. Taveira Pinto demonstra ainda que $F(t)_{máx}$ ocorre quando $\sin(wt) = \frac{\psi_1}{2\psi_2}$ e é dado por,

$$F(t)_{máx} = -F(t)_{mín} = \frac{\psi_1^2}{4\psi_2} + \psi_2 \tag{3.52}$$

Referem-se ainda as hipótese admitidas pelo autor, nomeadamente, as que tornam válida a Teoria Linear de Airy, isto é, orbitais fechadas, irrotacionalidade, parâmetro de Ursell $U = HL^2/d^3$ muito inferiro a 1, profundidade relativa d/L maior do que 0.05, altura relativa H/d muito inferior a 1, não existência de transporte de massa fluida e distribuição de pressões na vertical não hidroestática. Deverá também admitir-se que $C_M$ e $C_D$ são independentes da profundidade e que a aceleração convectiva é muito inferior à aceleração local, o que se pode verifiar apenas em ondas de pequena declividade e em profunidades elevadas.

Tal como é possível constatar, do ponto de vista de dimensionamento de um emissário submarino, estando o projetista sobretudo interessado nas forças máximas a que o emissário submarino estará sujeito, a aplicação da equação 3.51 consitui uma ferramente prática e de aplicação expedita, uma vez conhecidas as condições de agitação marítima de projeto.

## 3.3. Dimensionamento de Proteção de Enrocamento na Zona de Rebentação

O método de proteção estrutural mais utilizado para proteção de um emissário submarino na zona de rebentação consiste em enterrar o emissário. Quando o fundo sobre o qual assenta o emissário é arenoso, trata-se indiscutívelmente da solução mais económica e eficaz do ponto de vista estrutural e construtivo. Em emissáros submarinos de elevada importância, mesmo quando o fundo é do tipo rochoso é frequente a execução de túneis sobre a rocha, através dos quais o emissário submarino é instalado, por forma a garantir que a estrutura não é submetida à acção da rebentação das ondas.

Existe ainda a possibilidade de proteger estruturalmente o emissário submarino através de uma proteção de enrocamento de disposição semelhante a um quebramar submerso. No caso de estudo abordado no Capítulo 4, será adotada uma proteção estrutural de enrocamento para o trecho de emissário submarino localizado na zona de rebentação, razão pela qual serão abordadas as questões de dimensionamento inerentes a esse tipo de estruturas.

Tradicionalmente o dimensionamento da proteção de enrocamento de um emissário submarino é feita com recurso às fórmulas de dimensionamento de quebramares submersos, dadas as suas semelhanças do ponto de vista de funcionamento estrutural. Existem no entanto diferenças fundamentais entre estas estruturas, que conduzem ao aparecimento de algumas críticas relativamente à aplicabilidade das expressões de dimensionamento de quebramares submersos ao caso da proteção estrutural de emissários. As principais diferenças de uma estrutura de proteção de um emissário submarino face a um quebramar

submerso são elencadas na tabela 3.1. Ainda assim, apesar das fortes diferenças de funcionamento entre ambas as estruturas, a aplicação das fórmulas de dimensionamento de quebramares submersos conduz, geralmente, a soluções pelo lado da segurança, sendo por isso a metodologia adotada no presente estudo para dimensionamento dessas estruturas.

| Quebramar Submerso | Proteção de enrocamento – Emissário Submarino |
|---|---|
| Aproximadamente perpendicular à direção de propagação da agitação marítima | Estrutura enraizada, aproximadamente paralela à direção de propagação da agitação marítima |
| Tem por objetivo a dissipação de energia para proteção de elementos localizados a sotamar do quebramar | Tem por objetivo a dissipação de energia para proteção do emissário submarino localizado no seu núcleo |
| Cota do fundo e do coroamento aproximadamente constante ou pouco variável | Cota do fundo e do coroamento muito variável de seção para secção |
| Baixo grau de submersão | Elevado grau de submersão |

Tabela 3.1 – Diferenças fundamentais entre um quebramar submerso e uma proteção de enrocamento de um emissário submarino

### 3.3.1. Fórmula de van der Meer (Quebramares Submersos)

A fórmula de van der Meer (2003) para o dimensionamento de quebramares submersos apresenta a vantagem de considerar no cálculo o carácter irregular da agitação marítima, e baseia-se essencialmente na ideia de que a estabilidade da estrutura, segundo van der Meer, pode ser descrita pelo parâmetro de altura de onda adimensional, $N_S$, ou pelo parâmetro de estabilidade espectral, $N_S^*$, equações 3.53 e 3.54 (Pereira, 2008).

$$N_S = -7 \ln\left(\frac{1}{2.1 - 0.1\,S}\,\frac{h_c}{h}\right)\sqrt[3]{s_{op}} \tag{3.53}$$

$$N_S^* = -7 \ln\left(\frac{1}{2.1 - 0.1\,S}\,\frac{h_c}{h}\right) \tag{3.54}$$

em que $s_0 = H_{design}/L_0$ representa a declividade de onda em relação ao período de pico, $h\,[m]$ a profundidade local, $h_c\,[m]$ a altura da estrutura e S o nível de estragos admissível. O nível de estragos poderá ser avaliado através da figura 3.24.

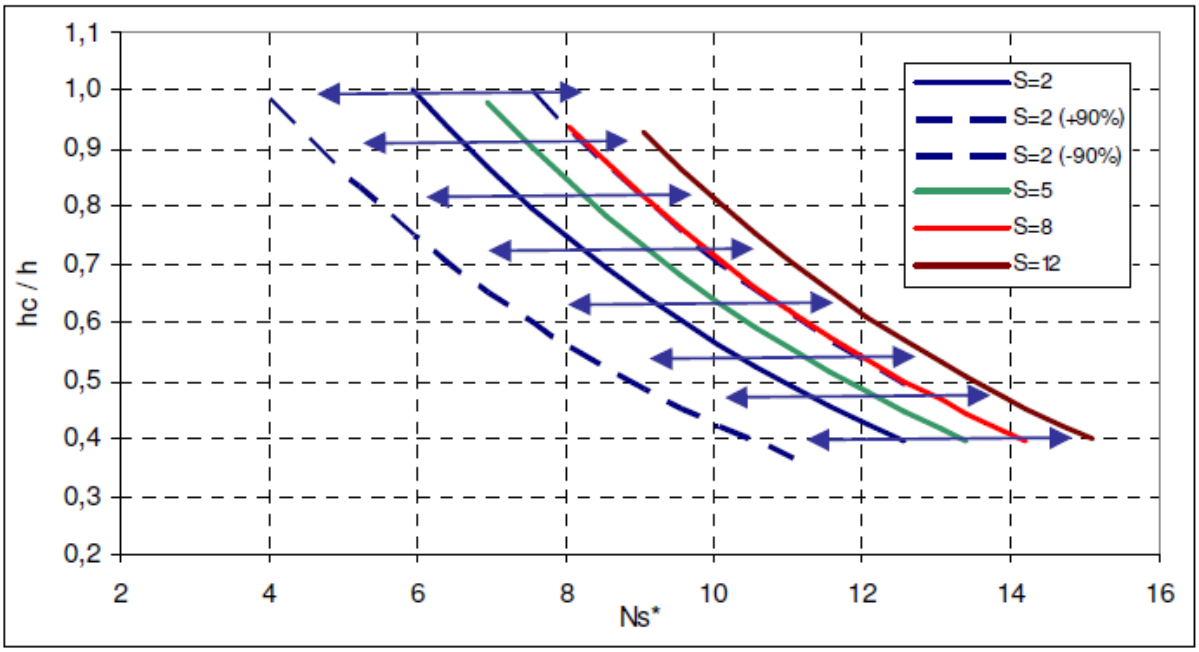



Figura 3.24 – Curva de dimensionamento para quebramares submersos, *Pilarczyk (2003) referido por Pereira (2008)*

Assim, conhecida a altura de onda e o período de projeto, é possível obter o diâmetro médio dos blocos do manto resistente como sendo,

$$D_{n50} = \frac{\dfrac{H_{design}}{\Delta \cdot \left(-\ln\left(\dfrac{h'_c}{h(2.1 + 0.1 \cdot S)}\right)\right)}}{0.14 \cdot s_0^{-\frac{1}{3}}} \tag{3.55}$$

em que $\Delta = (\gamma_{rocha}/\gamma_{mar} - 1)$, $h'_c\ [m]$ representa profundidade sobre o coroamento da estrutura e $D_{n50}\ [m]$ o diâmetro médio dos blocos de rocha do manto resistente.

Uma vez determinado o diâmetro médio dos blocos do manto resistente, o seu peso, $W\ [kN]$, poderá ser determinado por,

$$W = (D_{N50})^3 \cdot \gamma_{rocha} \tag{3.56}$$

Uma das principais incógnitas do problema, numa fase de pré-dimensionamento, relaciona-se com o valor a adotar para a altura da estrutura, $h_c'$. Contrariamente ao que sucede no caso de um quebramar submerso, em que se procede inicialmente à determinação da cota ideal de coroamento face às características hidráulicas desejadas para o quebramar, no caso de um emissário submarino, a determinação desse parâmetro é de dificil decisão. Como tal, apresentam-se desde já algumas soluções construtivas adotadas no caso do emissário submarino de Santader, Espanha, que podem servir como referência para a definição do perfil transversal tipo a adotar para o caso de estudo a analisar no capítulo 4, Figuras 3.25 a 3.29.

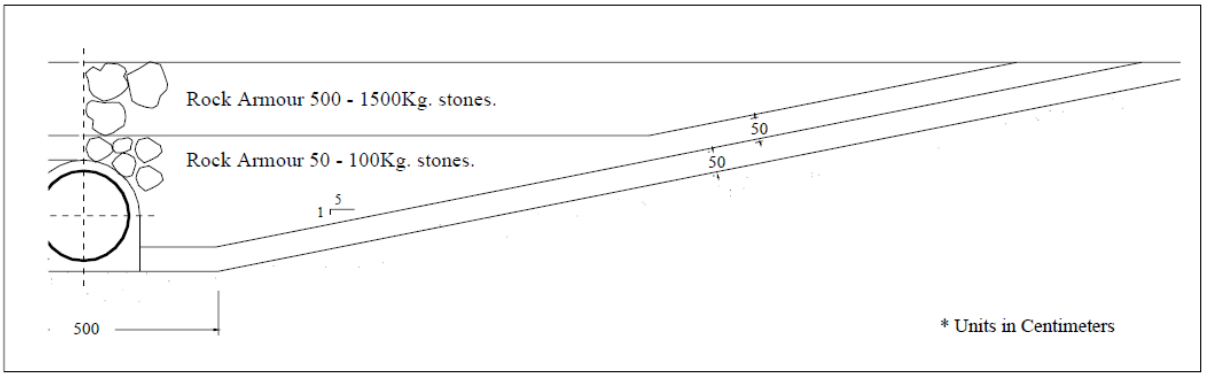



Figura 3.25 – Perfil transversal de uma solução de proteção estrutural. Trincheira escavada sobre fundo arenoso com enchimento de enrocamento. *Alvarez et al., 2002*

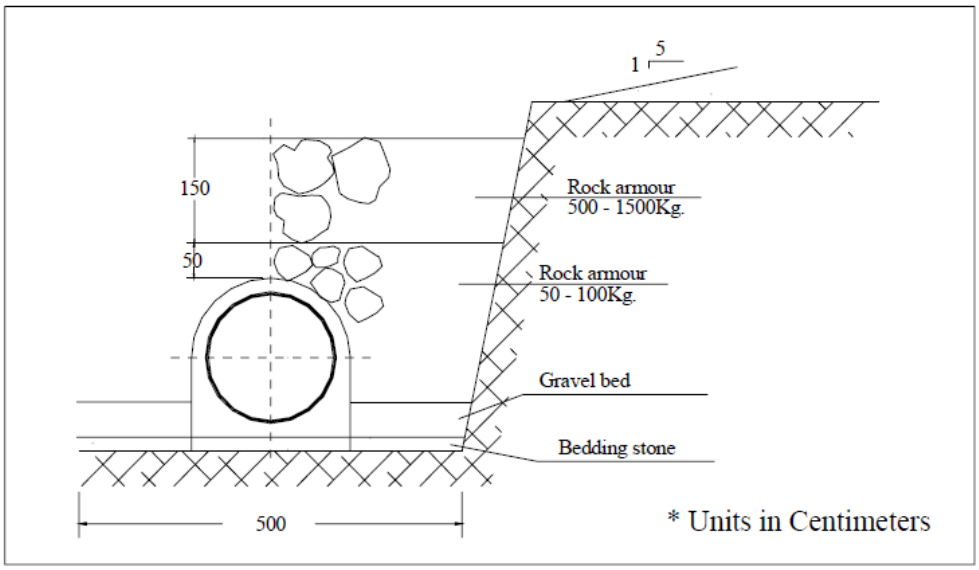



Figura 3.26 – Perfil transversal de uma solução de proteção estrutural. Trincheira escavada sobre fundo rochoso com enchimento de enrocamento. *Alvarez et al., 2002*

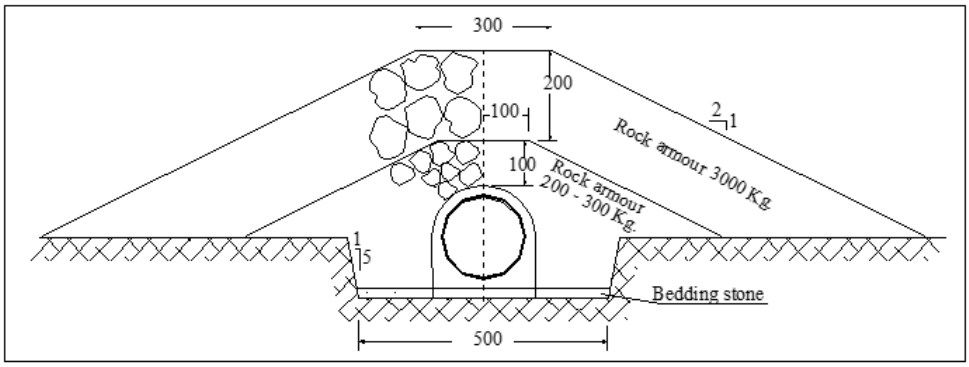



Figura 3.27 – Perfil transversal de uma solução de proteção estrutural de taludes sobre vala escavada em fundo rochoso. *Alvarez et al., 2002*

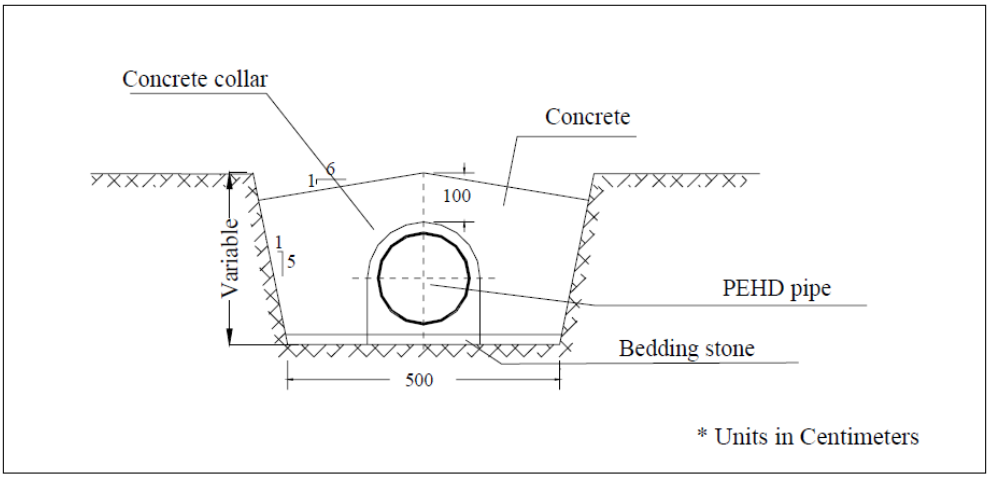



Figura 3.28 – Perfil transversal de uma solução de proteção estrutural de taludes sobre fundo rochoso. *Alvarez et al., 2002*

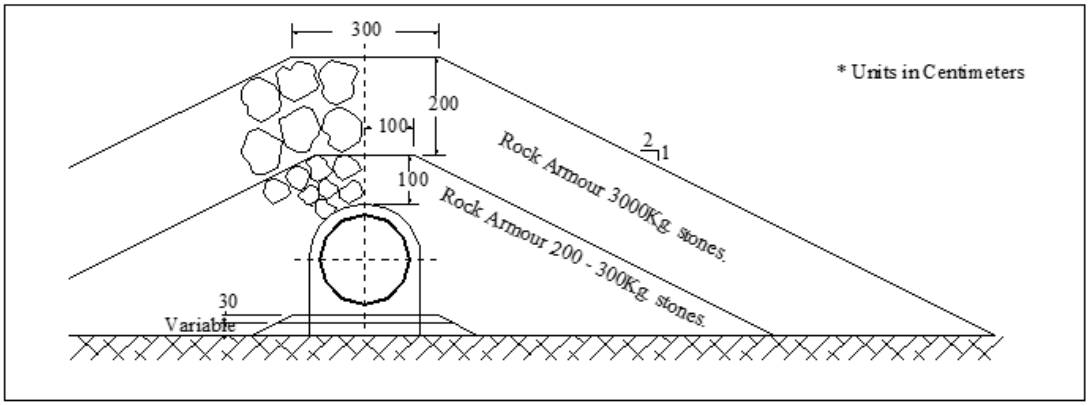



Figura 3.29 – Perfil transversal de uma solução de proteção estrutural. Vala escava sobre fundo rochoso com preenchimento de betão. *Alvarez et al., 2002*

Tal como é possível constatar as soluções estruturais a adotar são diversas, devendo o projetista face às condições geológicas locais definir o perfil transversal mais adequado. Deverão também ser tidos em conta outros fatores de carácter construtivo como por exemplo, disponibilidade de blocos de dimensão adequada em pedreiras nas imediações do local de construção, custos e facilidade de transporte, viabilidade económica das diversas soluções, experiência local, entre outros.

À semelhança do que sucede com o dimensionamento dos anéis de betão, deverão também ser traçados cenários de homogeneização das soluções encontradas. A metodologia de cálculo a empregar no dimensionamento estrutural da proteção de enrocamento de um emissário submarino será realizada ao longo do trecho do emissário submarino localizado na zona de rebentação em que, tal como previamente, as condições de dimensionamento se alteram de secção para secção. Assim, deverá ser adotado um conjunto razoável soluções de dimensionamento cuja viabilidade económica deverá ser comparada tendo por objetivo definir qual o cenário mais favorável. Poderão traçar-se cenários semelhantes aos traçados para o dimensionamento dos anéis de contrapeso de betão, isto é, poderá adotar-se, por exemplo, o peso máximo encontrado para o manto resistente para todo o trecho de emissário submarino, definindo-se apenas uma secção transversal tipo a adotar em toda a zona de rebentação. Poderá ainda definir-se um cenário em que apenas duas ou três gamas de peso de blocos são adotadas, dividindo-se a zona de exposição à rebentação das ondas em trechos cujas secções transversais diferem de acordo com a intensidade das ações a que estão sujeitas.

Os anéis de betão representados nos perfis transversais das Figuras 3.25 a 3.29 não possuem funções de proteção estrutural. Tratam-se de elementos construtivos necessários para permitir o afundamento do emissário durante a fase de construção. Tal como previamente referido, o conjunto constituído pelo emissário e pelo volume líquido no seu interior possui uma densidade menor do que a da água do mar, tendo por isso tendência natural para flutuação. Assim, por forma a permitir o seu afundamento bem como garantir alguma estabilidade do emissário durante o processo construtivo será necessária a utilização de anéis de afundamento cujo peso deverá ser apenas o suficiente para vencer as forças de flutuação do conjunto. Poderão ser calculados por via das equações de estabilidade utilizadas para o dimensionamento dos anéis da zona corrente considerando que as forças verticais e horizontais são nulas, mantendo, no entanto, um coeficiente de segurança superior a 1,00, por forma a garantir alguma estabilidade adicional durante a fase construtiva.

# 4
# CASO DE ESTUDO

## 4.1. INTRODUÇÃO

As metodologias de dimensionamento de um emissário submarino apresentadas requerem o conhecimento detalhado das características geográficas, geotécnicas e da agitação marítima e correntes do local de implantação. Deverão portanto, em fase prévia aos estudos técnicos das diversas soluções, ser lançadas campanhas de recolha de dados de campo que facilitem a compreensão da dinâmica marítima e das características geológicas locais que possam ter impacto nas decisões técnicas. Deverá estabelecer-se um bom nível de conhecimento à escala da solução, isto é, ao nível dos fenómenos localizados na vizinhança do emissário, mas também, tanto quanto possível, a uma escala "macro". O conhecimento global da dinâmica marítima, acidentes geológicos, características demográficas, sensibilidade ambiental, entre outros, deverão auxiliar a tomada de decisões relativas ao projeto de um emissário submarino, revelando-se por vezes cruciais.

O caso de estudo analisado no presente capítulo visa a aplicação das metodologias de dimensionamento apresentadas nos capítulos posteriores a um conjunto de emissários submarinos atualmente em fase de estudo prévio na Ilha da Madeira. Na costa Sul da Ilha serão analisados os emissários da Calheta, Ribeira Brava, Câmara de Lobos e Machico. Na costa Norte será analisado o emissário submarino de Porto da Cruz, Figura 4.1.


Figura 4.1 – Localização dos diversos emissários submarinos em análise, *Google Earth.*

A Ilha da Madeira é um local com boas características para disposição de efluentes residuais pré-tratados através de emissários submarinos. A forte declividade da ilha, Figura 4.2, típica de uma ilha vulcânica jovem, é uma característica primordial relativamente à eficiência ambiental de um emissário submarino. Sendo a profundidade um fator chave do ponto de vista do parâmetro de diluição inicial, numa ilha com estas características, com recurso a emissários submarinos de curta extensão facilmente se atingem níveis muito elevados de diluição, resultando em soluções muito competitivas do ponto de vista económico. Note-se que, tal como é possível constatar por comparação das diversas soluções de emissários submarinos apresentadas no Capítulo 1.5, existe uma gama de profundidades, entre os -20.00 e os -50.00 m, para as quais se verifica um bom funcionamento dos emissários. Várias referências apontam o intervalo de profundidades de -20.00 a -30.00 m como sendo ideal para a generalidade dos emissários submarinos do ponto de vista ambiental e, sobretudo, do ponto de vista construtivo. Naturalmente, todos os outros parâmetros de dimensionamento irão contribuir para a necessidade de atingir maiores ou menores profundidades, destacando-se essencialmente o caudal e a carga poluente do efluente. Simplesmente, para atingir essa gama de profundidades em locais de menor declividade, como por exemplo, Portugal continental, são necessários frequentemente emissários com comprimentos superiores a 1km. No caso da Ilha da Madeira, verifica-se que a plataforma que compreende a linha de costa e a batimétrica dos -100.00 m tem apenas uma largura média entre os 2.2 e os 5 km.

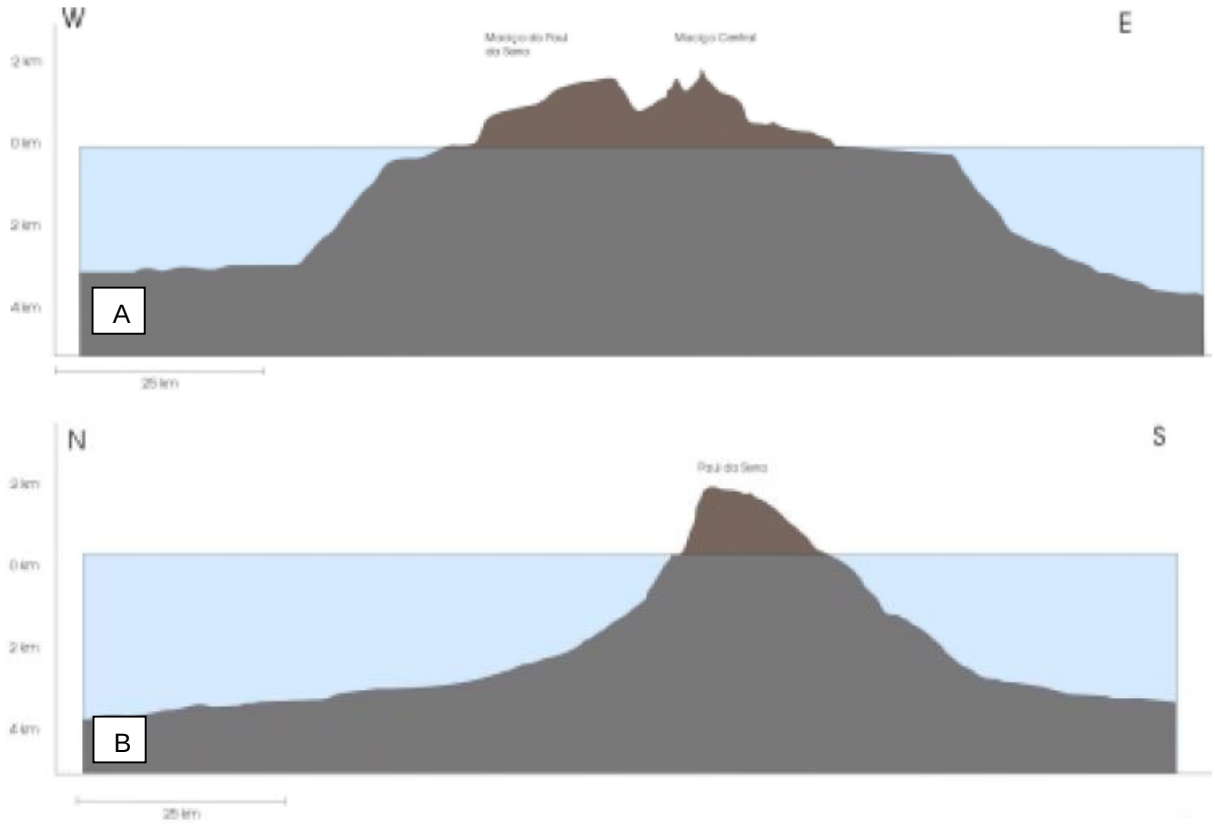



Figura 4.2 – Perfis da ilha da Madeira segundo as direções Oeste-Este (A) e Norte-Sul (B), *Instituto Hidrográfico (2003) adaptado de Nascimento (2000).*

Um outro aspeto extremamente favorável do ponto de vista da utilização de emissários submarinos para disposição final de efluentes residuais relaciona-se com a reduzida dimensão da Ilha da Madeira quando comparada com a escala espacial das correntes oceânicas circundantes, conduzindo a reduzidos tempos de retenção da massa de água na vizinhança da ilha *(Neves et al., 2013)*, Figura 4.3 e 4.4.

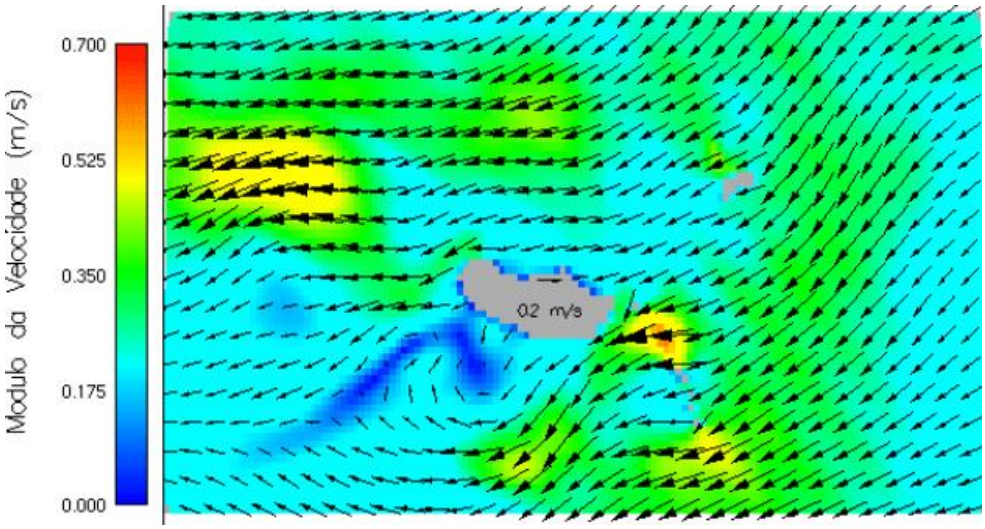



Figura 4.3 – Velocidade superficial obtida por modelação numérica para situação de ventos alísios, *Neves et al. (2013).*

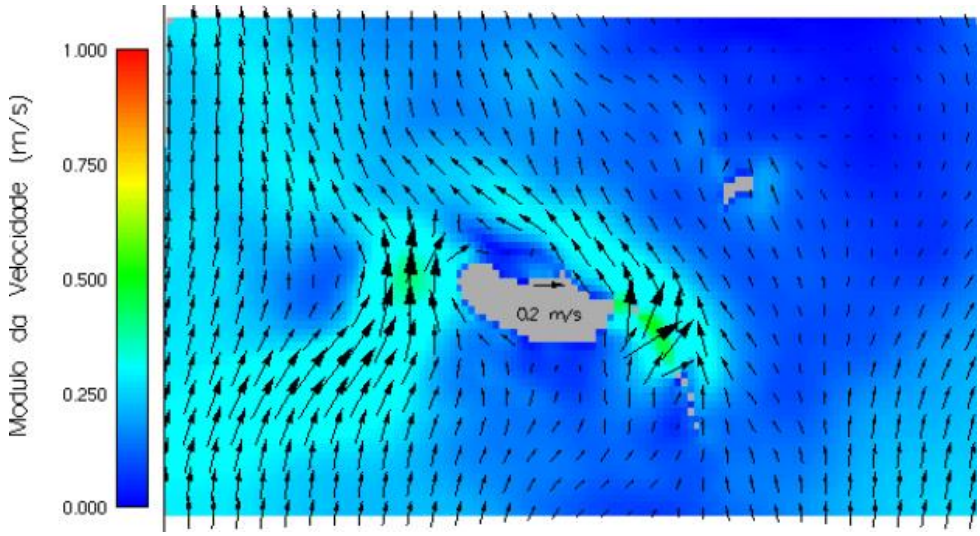



Figura 4.4 – Velocidade superficial obtida por modelação numérica para situação de ventos de Sul, *Neves et al. (2013)*

O principal estudo que sustenta a viabilidade ambiental da utilização de emissários submarinos na costa Sul da Ilha da Madeira intitula-se "Análise do Impacto da Rejeição de Efluentes Resultantes do Tratamento de Águas Residuais Urbanas em Meio Marinho na Ilha da Madeira", realizado pelo Instituto do Mar (2013). Após extensas campanhas de medição das concentrações dos principais poluentes gerados pela descarga de águas residuais em meio hídrico, esse estudo concluí que as condições ambientais da zona costeira da Ilha da Madeira são favoráveis a essa prática, demonstrando que as descargas marítimas realizadas à data "atendem às condições de sustentabilidade ambiental dado que

nem afetam a produção primária do meio marinho, nem põe em causa a qualidade das águas balneares". Assim, a utilização de emissários submarinos como meios de descarga deverá melhorar substancialmente as condições pré-existentes e nunca agravá-las, afastando apenas os pontos de descarga da orla costeira. A realização daquele estudo é essencial para sustentar a opção de descarga das águas residuais urbanas em meio marítimo por via de um emissário submarino, sendo o efluente apenas submetido a um pré-tratamento do tipo primário. Permite ainda sustentar "a manutenção da classificação das águas costeiras da Ilha da Madeira e da Ilha de Porto Santo como zonas menos sensíveis". Esse conjunto de premissas permite satisfazer as condições impostas legalmente para descarga de efluentes em meio marítimo nas referidas condições, tal como especificado no Capítulo 1. As referidas campanhas de medição realizaram-se desde Julho de 2008 e Dezembro de 2013 e nos diversos pontos de amostragem, Figura 4.5, foi recolhido um vasto conjunto de dados, nomeadamente, transparência (disco de Secchi), perfis de temperatura, perfis de salinidade, perfis de pH, saturação de oxigénio, turbidez, clorofila, matéria particulada em suspensão, oxigénio dissolvido à superfície, nitrato, azoto amoniacal, azoto total dissolvido à superfície, fósforo, clorofila a, feopigmentos, azoto particulado em suspensão e *Escherichia Coli*. Note-se que entre Janeiro de 2012 e Dezembro de 2013 os pontos de amostragem foram ligeiramente alterados.

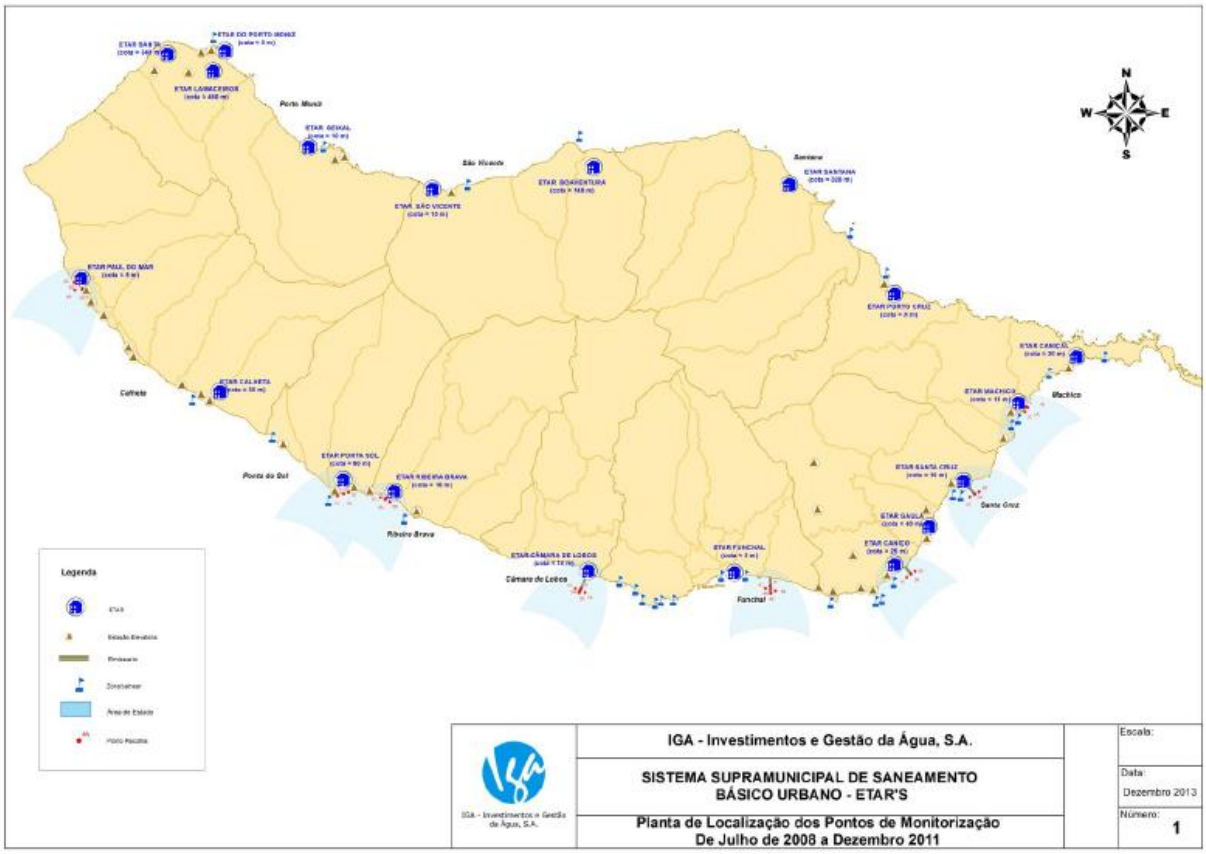



Figura 4.5 – Pontos de monitorização em torno da Ilha da Madeira, *Ramiro Neves et al. (2013)*

## 4.2. AGITAÇÃO MARÍTIMA

A costa Sul da Ilha da Madeira encontra-se naturalmente protegida dos fenómenos de agitação marítima mais intensos predominantemente vindos de Norte e Noroeste. Assim, na maior parte do tempo, a agitação sentida na orla Sul da ilha é substancialmente inferior aquela sentida a Norte, uma vez que resulta de fenómenos de difração que conduzem a alturas de onda menores. Com base nos dados registados pela boia ondógrafo de Ponta da Cruz, Funchal, considerando uma janela temporal de registos entre 1996 e 2001, verifica-se que a direção predominante, para o período de pico, é de Oeste, sendo pequena a percentagem de tempo em que essa direção é de Sul, Figura 4.6. Note-se que, estando os emissários submarinos da costa Sul da Ilha da Madeira orientados segundo Norte-Sul, a agitação marítima predominante induz velocidades aproximadamente perpendiculares aos emissários submarinos. Tal como referido no Capítulo 3, escoamentos perpendiculares a uma conduta submarina constituem o caso mais desfavorável do ponto de vista estrutural, embora favorável do ponto de vista hidráulico.

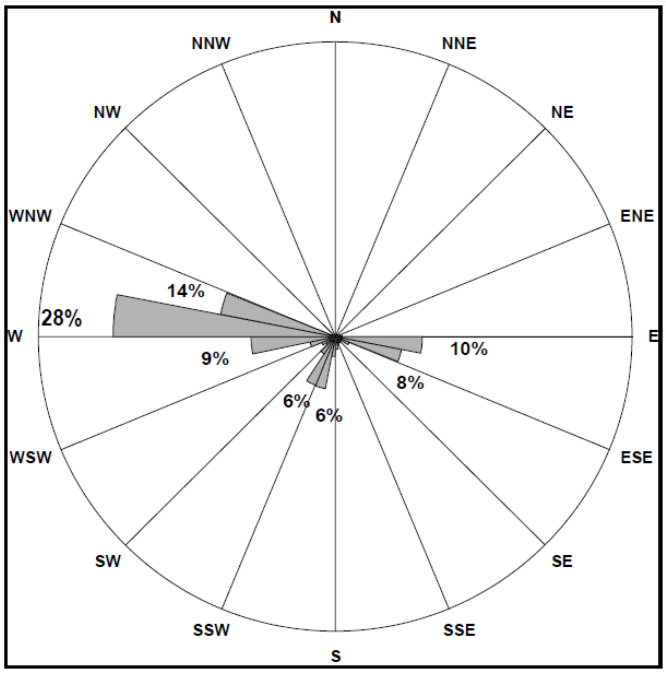



Figura 4.6 – Distribuição da direção média associada ao período de pico, *Instituto Hidrográfico (2003)*

Tal como é possível observar nas Figuras 4.7 a 4.10 as alturas de onda significativas situam-se, maioritariamente entre 0 e 2 m, sendo que apenas 4.1% dos registos são superiores a 2 m. O período médio predominante situa-se entre 4 e 6 segundos, ao passo que o período de pico se situa maioritariamente entre 6 e 16 s. O período de pico máximo registado é de 18.2 s e o mínimo 3.5 s. Verifica-se uma variação sazonal muito significativa da altura significativa máxima de onda, mantendo-se no entanto, a altura significativa média sempre inferior a 1.5 m (*Instituto Hidrográfico, 2003).*

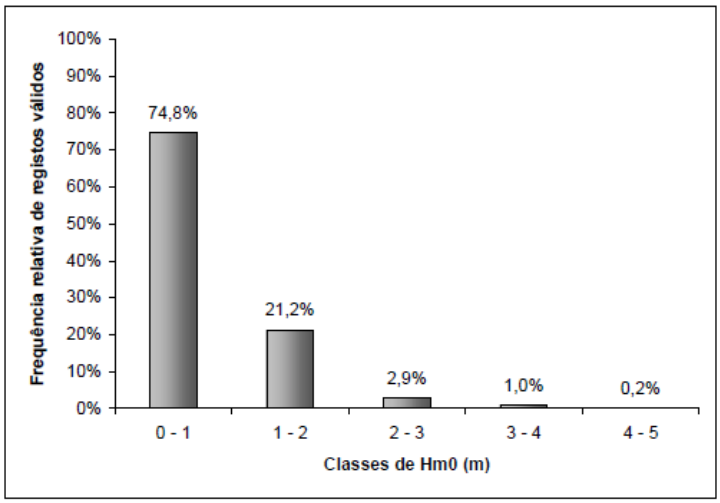



Figura 4.7 – Distribuição da altura de onda significativa média, *Instituto Hidrográfico (2003).*

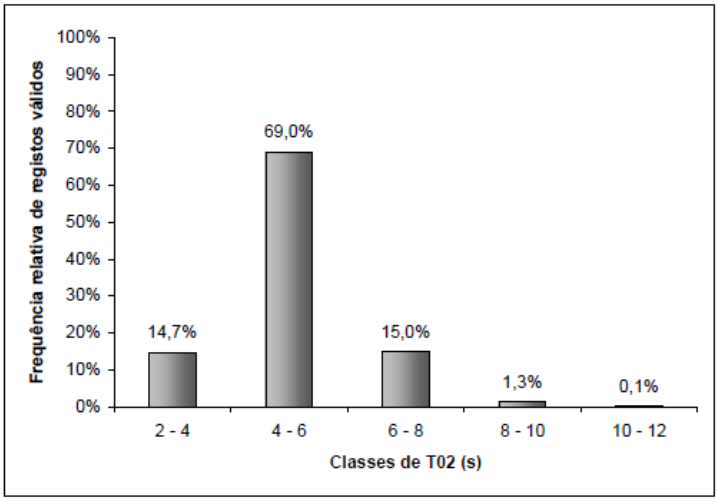



Figura 4.8 – Distribuição do período de onda médio, *Instituto Hidrográfico (2003).*

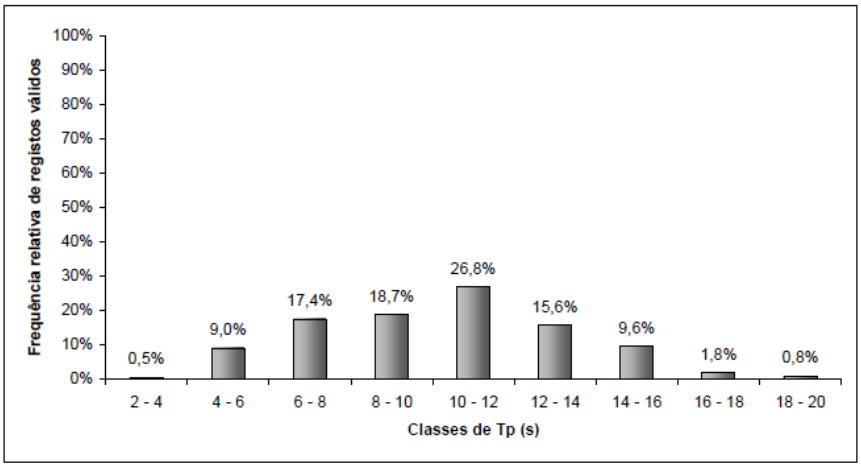



Figura 4.9 – Distribuição do período de onda de pico, *Instituto Hidrográfico (2003).*

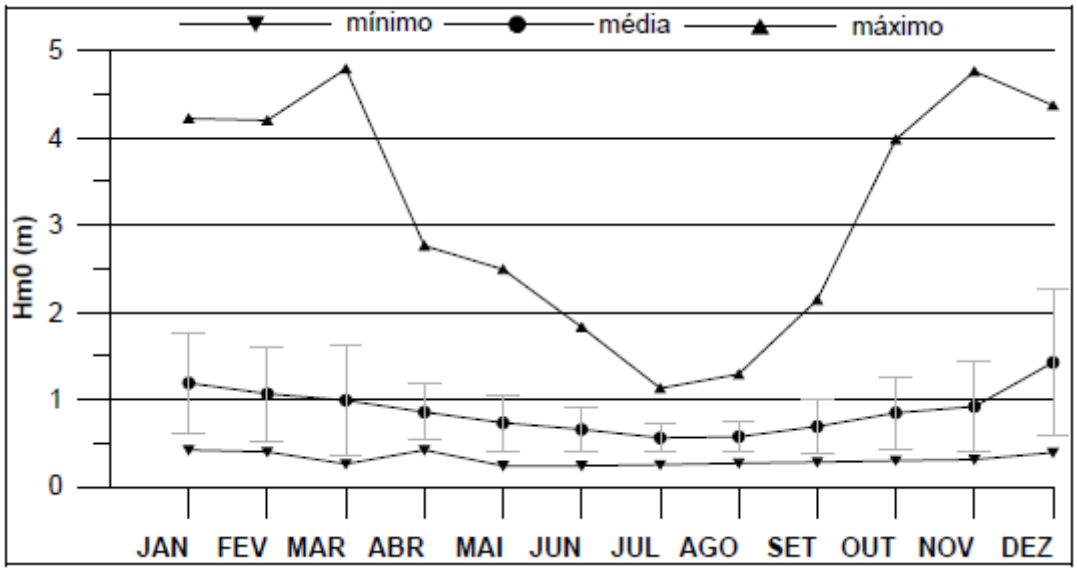



Figura 4.10 – Distribuição média sazonal da altura de onda significativa média, mínima e máxima, *Instituto Hidrográfico (2003)*

Um dos aspetos de maior incerteza em termos do dimensionamento hidráulico de um emissário submarino são os dados correntométricos, tendo no entanto um impacto muito significativo na solução final. Globalmente, poderá dizer-se que, quanto maior a intensidade da corrente, melhor será a performance ambiental de um dado emissário submarino. Admitindo que o módulo da velocidade da corrente se mantém constante, poderá dizer-se que, quanto maior for a componente dessa velocidade em direção à costa, pior será a eficiência ambiental desse mesmo emissário submarino. A escassez de dados relativos às correntes marítimas bem como a elevada incerteza a si associada, traduz-se em grandes dificuldades na definição de qual a "velocidade de corrente de dimensionamento".

No caso da ilha da Madeira, as correntes marítimas advêm sobretudo das ondas de maré. As marés são do tipo semidiurno, variando o nível de preia-mar entre 1.5 m e 2.9 m. Em período de marés vivas as correntes podem atingir velocidades de cerca 0.5 m/s (*Instituto Hidrográfico, 2003)*. Diversos registos demonstram, no entanto, que na maior parte do tempo a velocidade da corrente deverá estar compreendida entre 0 e 0.2 m/s, Figuras 4.11 a 4.14. Note-se que os registos de velocidade do escoamento ao longo da coluna de água, obtidos por via de correntómetros, dada a pouca profundidade em que, muitas vezes, são realizados, contêm alguma interferência dos campos de velocidades gerados pela passagem das ondas. No caso dos registos apresentados na Figura 4.11, a mesma fonte refere que a corrente máxima registada é de 21.41 cm/s para o período de vazante e 9.97 cm/s para o período de enchente.

Note-se ainda que, do ponto de vista do comportamento ambiental de um emissário, considerar, para efeitos de cálculo da diluição inicial, a velocidade do escoamento induzida pelas ondas na vizinhança do ponto de descarga, é desaconselhável. Sendo essa velocidade favorável, uma vez que aumenta as características turbulentas do escoamento, e simultaneamente aleatória, deverá considerar-se o caso mais desfavorável, isto é, ausência de ondas.

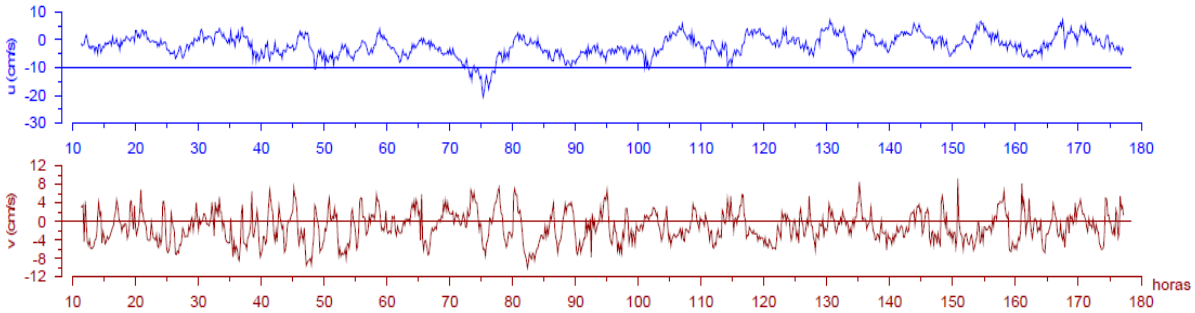



Figura 4.11 – Registos da velocidade da corrente ao largo de Baixo da Vila, em Junho de 2002, registados por um correntómetro para uma imersão média de 22,5 m *(Instituto Hidrográfico, 2003).*

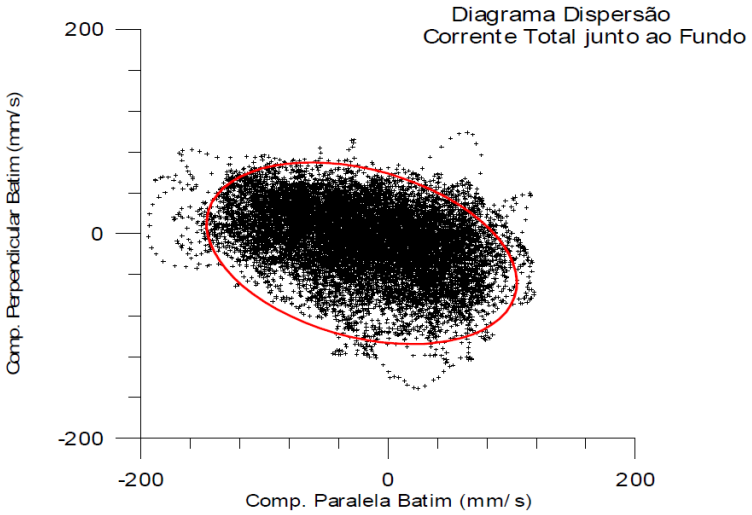



Figura 4.12 – Registos de velocidade da corrente total, obtidos através de um correntómetro fundeado em Ponta do Leão *(Instituto Hidrográfico, 2003).*

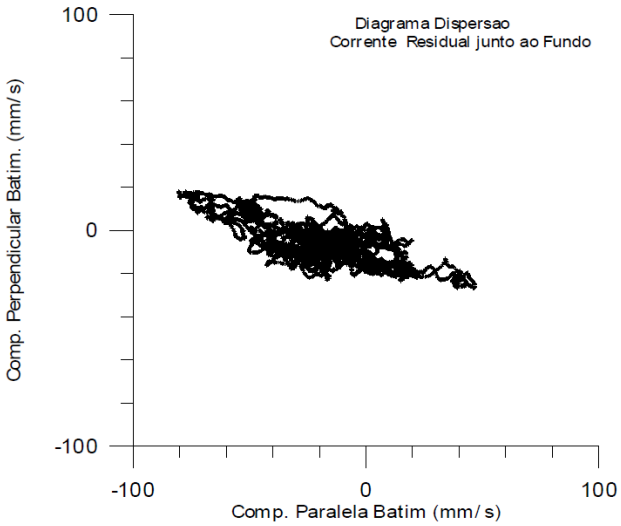



Figura 4.13 – Diagrama de dispersão da corrente residual, por remoção da componente gerada pela maré *(Instituto Hidrográfico, 2003).*

Do ponto de vista da análise da estabilidade estrutural de um emissário submarino, as condições médias de agitação marítima são pouco relevantes, exceto na análise das questões relacionadas com erosão sedimentar, que podem ter impactos estruturais significativos. Deverão ser estimadas condições extremas de agitação marítima para um dado período de retorno, compatível com os riscos económicos e ambientais inerentes à destruição total ou parcial da estrutura. Para o presente caso de estudo não será necessária a realização de uma análise de extremos para determinação da altura de onda de projeto. O relatório técnico "Dinâmica Sedimentar da Costa Sul da Ilha da Madeira", realizado pelo Instituto Hidrográfico, contém já uma estimativa da altura de onda significativa para um período de retorno de 100 anos, realizado por ajuste dos registos da estação ondógrafo do Funchal, que contém cerca de 10 anos de registos válidos de agitação marítima, a uma distribuição lognormal. O mesmo estudo refere que o resultado das extrapolações obtidas é apenas indicativo uma vez que a dimensão dos registos é reduzida, inferior a 20 anos. Refere-se ainda que, por forma a garantir a independência dos registos, foram selecionados, os valores máximos da altura de onda significativa de cada inverno marítimo. Os resultados da referida extrapolação constam da figura 4.14 e 4.15.

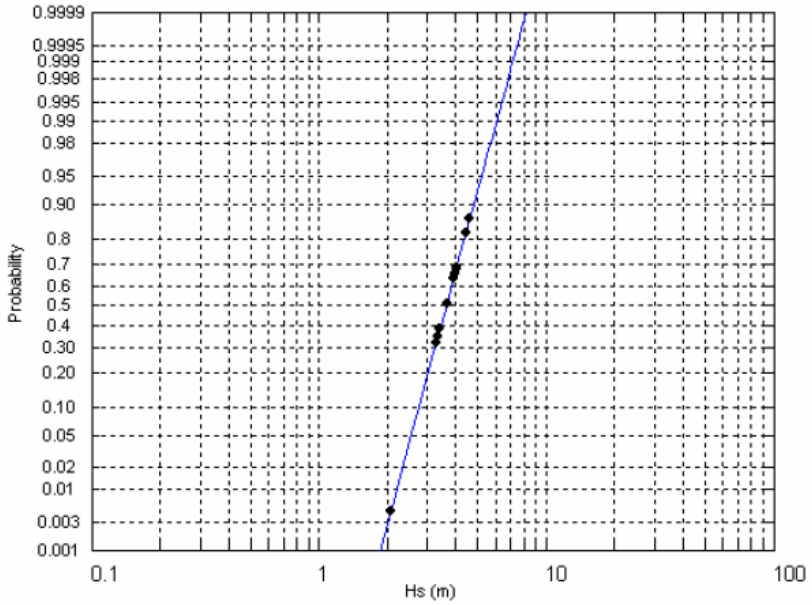



Figura 4.14 – Ajuste dos valores máximos de alturas de onda significativas observados a uma distribuição lognormal *(Instituto Hidrográfico, 2003)*

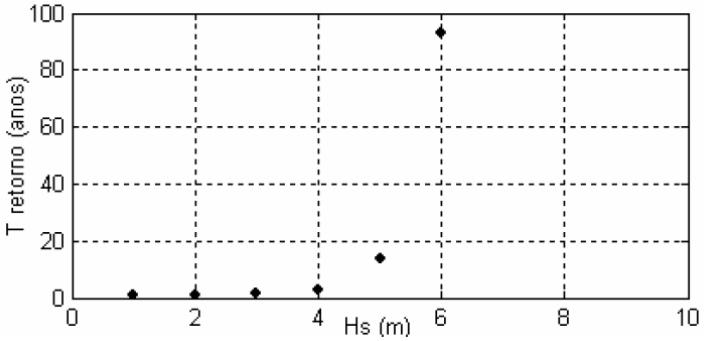



Figura 4.15 – Períodos de retorno, até 100 anos, para várias alturas de onda significativas *(Instituto Hidrográfico, 2003)*

Sendo um emissário submarino, uma estrutura dúctil, especialmente quando executada em PEAD, poderão ser permitidos alguns movimentos transversais da estrutura quando sujeita a eventos extremos de agitação marítima. Assim, teoricamente, poderia ser possível dimensionar, estruturalmente, um emissário submarino para a altura de onda significativa, desde que adequadamente selecionado o período de retorno. Ainda assim, dadas as enormes dificuldades de reparação deste tipo de estruturas, bem como os problemas operacionais associados à interrupção prolongada do seu funcionamento, tal prática não é aconselhável. Deverá por isso, ser determinada, para o período de retorno selecionado, a altura de onda máxima, para a qual deverá ser concebida a solução estrutural do sistema. Note-se que, pelas razões referidas no capítulo 3, a solução desenvolvida para a onda máxima de projeto, será ainda afetada de um coeficiente de segurança de 1.50.

Assim, para o caso de estudo em análise, Figura 4.13, se for considerado um período de retorno de 100 anos, a altura de onda significativa de projeto será, aproximadamente, de 6.1 m. A natureza da solução estrutural adotada para proteção dos emissários submarinos em análise, nomeadamente, a utilização de uma proteção de enrocamento na zona de rebentação e anéis de contrapeso de betão na restante extensão dos emissários, permite a utilização de $\overline{H}_{1/10}$ como altura de onda de dimensionamento, ou seja, a média do décimo superior das alturas de onda expectáveis associadas a um período de retorno de 100 anos. É ainda possível demonstrar que,

$$\overline{H}_{1/10} = 1.28 \cdot \mathrm{H_S} \tag{4.1}$$

A utilização de uma altura de onda de projeto inferior à altura de onda máxima expectável [illegible] período de retorno de 100 anos na zona de rebentação, é justificável pelo facto de serem aceitáveis alguns movimentos nos blocos do manto resistente da proteção enrocamento utilizada naquela zona, considerados de fácil reparação e sem prejuízo da resistência estrutural global do sistema de proteção. Já na zona corrente, protegida por meio de anéis de contrapeso de betão, o facto de se aplicar ao resultado do cálculo estrutural dos anéis um coeficiente de segurança de 1.5, constitui uma margem adicional de segurança que permite utilizar para essa zona uma altura de onda inferior à máxima, podendo afirmar-se com segurança que não deverão ocorrer movimentos dos anéis, mesmo na eventualidade de se verificar a ocorrência da altura de onda máxima associada a um período de retorno de 100 anos. Note-se que, segundo *Longuet-Higgins (1952),* $H_{Máx} \cong 1.768 \cdot H_S$. Então poderá afirmar-se que,

$$H_{Máx} \cong \frac{1.768}{1.28}\overline{H}_{1/10} \Leftrightarrow H_{máx} = 1.381 \cdot \overline{H}_{1/10} \tag{4.2}$$

No dimensionamento estrutural de um emissário submarino, para além da altura de onda de projeto, também o período de onda, a que se associa o comprimento de onda, possui uma grande influência nas solicitações a que o emissário estará submetido, já que uma componente significativa da força que atua sobre o emissário é uma força de inércia, relacionada com as acelerações do escoamento na vizinhança do emissário. Assim, poderá afirmar-se que quanto maior o período, maiores serão as forças de resistência, mas menores será a aceleração do escoamento e, consequentemente, menores serão as forças de inércia. Como tal, a definição do "período de onda de projeto" revela-se uma tarefa complexa e de difícil decisão. A relação entre a altura de onda de projeto e o período é de difícil definição na zona de influência do emissário submarino. No entanto, segundo *Wiegel,* é possível definir essa relação nas zonas de geração, como sendo,

$$H_S = 0.135 \cdot \overline{T}_c^2 \tag{4.3}$$

Admitindo como válida a equação 4.3, e considerando a altura de onda significativa de 6.1 m, [illegible] pelo *Instituto Hidrográfico (2003),* para um período de retorno de 100 anos, resulta um período de onda médio das cristas de, $\overline{T}_C \cong 6.72\ s$.

A altura de onda de projeto adotada, resultante da aplicação da equação 4.2, corresponde à média das alturas de onda do décimo superior associadas a um período de retorno de 100 anos,

$$H_{design} = \bar{H}_{1/10} \cong 8.5\ m.$$

Considerando o período de onda médio calculado segundo a expressão de *Wiegel*, pela análise dos registos dos períodos de pico do *Instituto Hidrográfico (2003)* representados na Figura 4.9, e tendo em conta o facto de que a consideração de um período de onda elevado conduz a forças totais menores por redução da componente relacionada com as forças de inércia, adotou-se para o cálculo dos anéis de contrapeso de betão um período de onda de projeto, $T_{design} = 9\ s$. Já para o cálculo da proteção de enrocamento, considerar o período de onda referido não representaria as condições mais desfavoráveis do ponto de vista da estabilidade da estrutura. Como tal, e tendo em conta que se trata de uma estrutura dinâmica, em que é aceitável a ocorrência de alguns movimentos dos blocos de proteção, foi adotado um período de onda de dimensionamento, $T_{design} = 15\ s$.

## 4.3. SOLUÇÕES HIDRÁULICO-ESTRUTURAIS

A utilização dos métodos de dimensionamento hidráulico-estrutural carece do conhecimento de uma vasta quantidade de informação sobre o local de implantação do emissário submarino que, dificilmente, num caso prático será possível obter com o detalhe pretendido. Em fase de estudo prévio esta questão é mais premente uma vez que se torna economicamente inviável a caracterização detalhada dos possíveis locais de implantação do emissário, apenas para testar as diversas soluções. Assim, caberá ao projetista contornar esse desconhecimento, recorrendo ao senso comum, à realização de estimativas, à comparação com projetos de características idênticas ou à utilização de valores de referência recolhidos da bibliografia da especialidade. Tal tarefa acrescenta às soluções determinadas um determinado grau de incerteza que deverá, em fases posteriores do projeto, ser clarificado por forma a validar as assunções previamente adotadas. O projetista deverá, no entanto, adotar uma postura conservativa em relação aos dados sobre os quais se baseia para definição das soluções, por forma a garantir que, mesmo operando num campo de incerteza, se posiciona do lado da segurança.

A primeira questão a abordar no processo de dimensionamento de um emissário submarino deverá ser o caudal de dimensionamento. Toda a geometria do emissário e do difusor estará dependente do caudal de dimensionamento considerado. Deverá pois, com base em estimativas demográficas e nos registos disponíveis nas ETAR, que usualmente medem o caudal à entrada e saída através de soleiras Parshall, definir-se qual o caudal de dimensionamento a adotar. Após definição do caudal de dimensionamento, deverão ser formuladas soluções para o emissário submarino por forma a garantir que, utilizando diâmetros comerciais correntes, a velocidade do escoamento ao longo do emissário, do difusor e dos *risers* é, por um lado, suficiente para garantir a manutenção de alguma capacidade de autolimpeza das condutas e, por outro lado, não superior às recomendações do fabricante da conduta com vista à garantia de durabilidade do sistema. O D.R. 23/95 estabelece como limite mínimo da velocidade do escoamento, para sistemas de drenagem de águas residuais urbanos, 0,6 m/s. Tal como será possível constatar pela análise das soluções seguidamente apresentadas, a velocidade mínima obtida no difusor será sistematicamente inferior à recomendada por esse decreto regulamentar. Sendo o caudal distribuído, no difusor, pelos vários *risers*, inevitavelmente, o último trecho do difusor apenas transportará caudal que será descarregado pelo último *riser*. Por esse motivo será difícil garantir a velocidade mínima regulamentar nesse local. Uma vez que as condições estabelecidas pelo D.R.23/95 estão direcionadas para o escoamento de águas residuais brutas, em regime de superfície livre, ao passo que no interior de um emissário submarino o escoamento foi já submetido, no mínimo, a uma fase de pré-tratamento ou tratamento primário e tendo em conta que o escoamento se processa sob pressão, poderão admitir-se, com segurança, velocidades ligeiramente inferiores. Note-se que, em fase de tratamento primário são reduzidos substancialmente os Sólidos Suspensos Totais (SST), os quais seriam os mais propensos a depositar-se no interior da conduta.

Em geral, é desconhecido com rigor o grau de poluição microbiológica à saída da Estação de Tratamento, pois depende de vários fatores como o caudal de infiltração da rede que lhe está associada, da intensidade de precipitação, da dimensão da bacia de drenagem, entre outros. Nesse sentido, e tendo em conta que se trata de um parâmetro essencial para a definição das soluções, sobretudo na definição do comprimento do emissário, consideram-se, para efeitos de dimensionamento, os valores de referência especificados por Metcalf e Eddy (2003) para águas residuais brutas, Tabela 4.1. Poderá considerar-se tais valores representativos do que será expectável nas ETAR em estudo uma vez que apenas será realizado tratamento primário na estação de tratamento. O tratamento primário é sobretudo de caracter físico e destina-se à remoção de partículas sólidas suspensas no volume de águas residuais. Como tal, o seu impacto nos parâmetros microbiológicos é diminuto e não serão expectáveis variações significativas

desses parâmetros entre o volume afluente e o volume efluente à ETAR. Trata-se naturalmente de um ponto que introduz um elevado grau de incerteza na solução. Tal como é possível observar na Tabela 4.1, Metcalf e Eddy (2003) admitem uma variação muito elevada em termos de poluição microbiológica em esgoto bruto. O aglomerado populacional que contribui para as descargas a realizar pelo emissário é de reduzidas dimensões, no entanto, sendo a carga microbiológica uma concentração não se poderá inferir que também esta seja reduzida. A concentração da carga poluente está relacionada com a área relativa, ou área por habitante, da rede e pelo grau de infiltração a ela associada. Tais características são no entanto desconhecidas. Como solução optou-se por analisar o que sucede em estações de tratamento de referência para as quais existam dados disponíveis relativamente à sua capacidade de tratamento de coliformes totais, Tabela 4.2. Nessa tabela é possível verificar que as ETAR de Sobreiras e do Freixo, na cidade do Porto, estão dimensionadas para realizar o tratamento de efluentes entre $1 \cdot 10^7$ e $2 \cdot 10^7$. Como tal, é possível inferir que essa será, aproximadamente a gama de valores entre as quais se situa a concentração típica em coliformes fecais do esgoto bruto daquela região. É assim possível sustentar a hipótese de utilização do limite inferior apontado por Metcalf e Eddy para a concentração de coliformes em esgoto bruto para dimensionamento dos emissários em estudo.

| | Coliformes totais $[un/100ml]$ | Coliformes fecais $[un/100ml]$ |
|---|---|---|
| Baixo | $1 \cdot 10^7$ | $1 \cdot 10^6$ |
| Médio | $1 \cdot 10^8$ | $1 \cdot 10^7$ |
| Elevado | $1 \cdot 10^9$ | $1 \cdot 10^8$ |

Tabela 4.1 – Concentração de coliformes totais e coliformes fecais em águas residuais brutas, *Metcalf & Eddy (2003)*

| Designação | ETAR do Freixo | ETAR de Sobreiras | |
|---|---|---|---|
| População | 170000 | 200000 | habitantes |
| Caudal Médio Diário | 35900 | 54000 | $m^3$/dia |
| Caudal de Pontoa Máximo | 840 | 1206 | L/s |
| Carência Bioquímica de Oxigénio | 11100 | 16700 | kg/dia |
| Carência Química de Oxigénio | 22470 | 33800 | kg/dia |
| Sólidos em Suspensão | 14460 | 21600 | kg/dia |
| Azoto Total de Kjeldhal | 2550 | 3800 | kg/dia |
| Fósforo Total | 500 | 750 | kg/dia |
| Coliformes Fecais | 2.00E+07 | 1.12E+07 | un/100ml |

Tabela 4.2 – Capacidade de tratamento nominal das ETAR do Freixo e de Sobreiras, *Águas do Porto.*

A velocidade das correntes marítimas desempenha também um papel essencial no grau de tratamento conseguido pelo emissário e terão um impacto muito significativo em relação à concentração de coliformes totais e coliformes fecais junto à costa. As medições existentes relativamente aos padrões de correntes marítimas em torno da Ilha da Madeira são pouco representativas uma vez que se tratam de campanhas de medição muito localizadas. O estudo realizado pelo Instituto Hidrográfico (2003) relativo à dinâmica sedimentar em torno da Ilha da Madeira procurou realizar um conjunto de medições das condições de agitação marítima entre os quais a realização de medições de intensidade e direção da corrente através da instalação de correntómetros em três pontos de análise. Tal campanha de medições concluiu, relativamente às condições correntométricas que "*paralelamente à batimetria, os valores de corrente oscilam entre os 8 e os 12 cm/s, com maior incidência no sentido NW-SE. Perpendicularmente*

*à batimetria os valores são pouco significativos. Dado que a zona observada é caracterizada por águas pouco profundas, os valores de corrente residual são mais vulneráveis às interferências climatológicas, ventos e consequentemente à agitação marítima".* Tendo em conta as vulnerabilidades realçadas no referido estudo, deverão utilizar-se esses dados com especial prudência. Naturalmente, para o estudo de soluções de um emissário submarino o caso mais desfavorável, em termos de correntes, ocorre quando a corrente é perpendicular à costa. A corrente marítima gera, no entanto, um duplo efeito no comportamento ambiental de um emissário submarino. Por um lado, quanto maior a intensidade da corrente maior será o grau de diluição inicial atingido, uma vez que uma maior turbulência na vizinhança do emissário auxilia o processo de mistura entre o efluente e a água marítima. Por outro lado, quando a componente da corrente em direção à costa é intensa, maior será a velocidade a que a pluma se desloca e menor será o tempo decorrido entre o momento da descarga e a chegada da pluma à costa, diminuindo assim a componente da diluição total relacionada com os fenómenos de inativação bacteriológica. No entanto, da combinação dos dois efeitos previamente referidos, a componente da diluição inicial é, para valores típicos da velocidade da corrente, predominante face ao efeito da inativação bacteriológica. Tal efeito deixa de se verificar, quando a velocidade da corrente é tão baixa que conduz a um tempo de arrastamento da pluma irrealisticamente elevado, preponderando o efeito da inativação bacteriológica. A determinação da corrente de projeto deverá, portanto, ser um valor suficientemente elevado que conduza a um cenário realista de arrastamento da pluma, mas simultaneamente moderado, por forma a não sobrevalorizar o efeito de turbulência na vizinhança do difusor. Note-se que, considerar uma velocidade de corrente de dimensionamento ligeiramente superior aos valores registados, apesar de aparentemente representar um cenário favorável, pode ser justificado pelo facto de, nesta metodologia de análise, não estar a ser considerado o efeito da turbulência gerada pelos campos de velocidades desenvolvidos em torno do difusor pela passagem das ondas. No caso da Ilha da Madeira, sumariamente, poderá admitir-se que, independentemente da direção, as velocidades de corrente se encontram entre 0 e 0.5 m/s (Instituto Hidrográfico, 2003, Neves *et al., 2013),* sendo possível constatar que, em termos médios, a velocidade da corrente deverá situar-se entre 0 e 0.2 m/s. Assim, apara todos os casos estudados no presente trabalho, foi adotada uma velocidade de corrente de dimensionamento de 0.2 m/s, em direção à costa, considerando-se que esse valor representa um cenário de arrastamento da pluma em direção à costa suficientemente rápido para o cenário de dimensionamento, podendo o efeito benéfico de turbulência em torno do difusor, gerado por essa corrente, ser facilmente compensado pela passagem das ondas nos momentos em que a velocidade real da corrente seja inferior a esse valor.

Outra questão de elevada importância relacionada com o efeito das correntes no grau de tratamento proporcionado pelo sistema de emissário submarino relaciona-se com a sua variação ao longo do tempo. A " velocidade da corrente de projeto" para fins de dimensionamento hidráulico, e contrariamente à considerada para fins de dimensionamento estrutural, não deverá ser excessivamente elevada. Será aceitável que, durante alguns dias do ano essa corrente seja atingida ou até ultrapassada. As correntes mais fortes verificam-se, normalmente, nos períodos de Inverno, altura em que a prática balnear é diminuta. No caso de estudo em análise, durante a maior parte do tempo, a intensidade da corrente em direção à costa é praticamente desprezável. Note-se também que, quando a componente da corrente em direção à costa é negativa, a pluma terá tendência a afastar-se da costa.

O último aspeto a ter em conta na análise das soluções seguidamente apresentadas trata-se do parâmetro $T_{90}$, ou "*die-off rate".* Esse parâmetro tem uma influência muito significativa na redução da concentração de organismos microbiológicos. Na realidade, esse parâmetro depende das características físicas da água do mar, sobretudo da salinidade e temperatura, mas também da espécie de bactéria ou outro poluente não-conservativo em análise. Assim, para cada espécie de bactéria deveriam ser obtidos diferentes $T_{90}$. Trata-se de um parâmetro facilmente obtido através de testes laboratoriais. No caso de estudo em análise, dado o desconhecimento do referido parâmetro, recorre-se à utilização de valores de

referência, os quais já foram referidos na tabela 2.1 do Capítulo 2. Com base na análise dessa tabela, complementado com as conclusões fundamentadas no estudo de "Análise da Rejeição de Efluentes Resultantes do Tratamento de Águas Residuais na Ilha da Madeira" *(Neves et al.,2013)* considera-se, para efeito de dimensionamento dos casos de estudo analisados no presente trabalho, uma taxa de inativação bacteriológica, $T_{90}$, de 1.3 horas, embora se admita que esse valor possa ser muito conservativo, devendo em fases posteriores do projeto ser estudado com rigor esse parâmetro que, certamente, deverá ser inferior na realidade.

É desconhecida a distribuição dos vários géneros de coliformes fecais presentes no efluente das ETAR em estudo. Sendo que a Diretiva 2006/7/CE estabelece limites máximos, para classificação da qualidade das águas costeiras para fins balneares, dos géneros *Escherichia Coli* e Enterococos intestinais, e dado o desconhecimento das respetivas concentrações no volume a descarregar, a análise das soluções hidráulicas obtidas deverá ter em conta a concentração junto à costa da globalidade dos coliformes fecais, Figura 4.16.

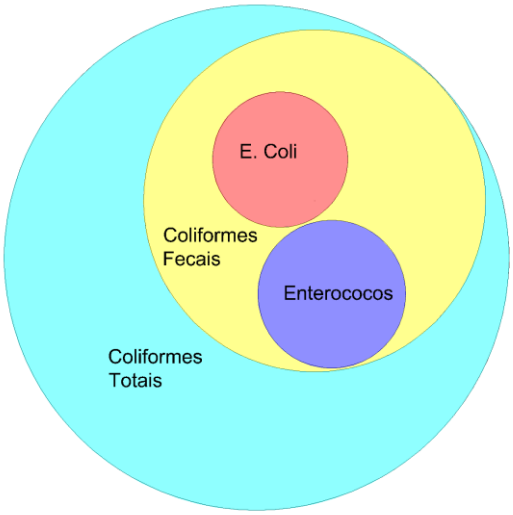



Figura 4.16 – Diferentes géneros de coliformes.

Do ponto de vista estrutural, será adotada uma solução estrutural idêntica em todos os emissários submarinos analisados. Para cada emissário submarino será determinada a extensão localizada na zona de rebentação e que será protegida por meio de uma proteção de enrocamento cujo perfil transversal tipo se encontra representado no Anexo A.1. Na restante extensão do emissário, designada por zona corrente, o emissário deverá ser protegido estruturalmente por meio de anéis de contrapeso de betão. A escassez de dados relativos à agitação marítima local, na vizinhança dos emissários em análise, obriga a considerar como válidos os dados relativos à costa Sul, previamente descritos, como válidos para todos os emissários. Naturalmente, para cada caso concreto, deverão ser analisadas as condições de agitação marítima local por forma a garantir que os fenómenos locais, como difração, refração, empolamento, entre outros, não alteram de forma significativa as condições de agitação marítima relativamente aos parâmetros considerados para dimensionamento estrutural. No entanto considera-se que, enquadrando-se a presente análise numa situação de estudo prévio das soluções, a utilização dos dados de agitação referidos em 4.2 conduz a uma estimativa satisfatória, permitindo uma efetiva comparação entre as diversas soluções.

Tal como é possível observar pelos resultados estruturais, face à consideração das mesmas condições de agitação marítima para todos os emissários submarinos, resultam soluções estruturais idênticas para a proteção de enrocamento localizada na zona de rebentação dos emissários submarinos de Machico, Ribeira Brava e Calheta, variando apenas a sua extensão. No caso dos emissários submarinos de Câmara de Lobos e de Porto Cruz, as soluções diferem uma vez que, de acordo com o perfil transversal tipo, o diâmetro do emissário influência a altura total da estrutura de enrocamento, alterando consequentemente as condições de cálculo e resultando em diferenças no peso dos blocos.

Refere-se por último que o espaçamento entre os anéis de contrapeso adotado, 5 m, foi obtido com base no gráfico da Figura 4.17, que estabelece os valores máximos desse espaçamento para emissários submarinos realizados em PEAD.

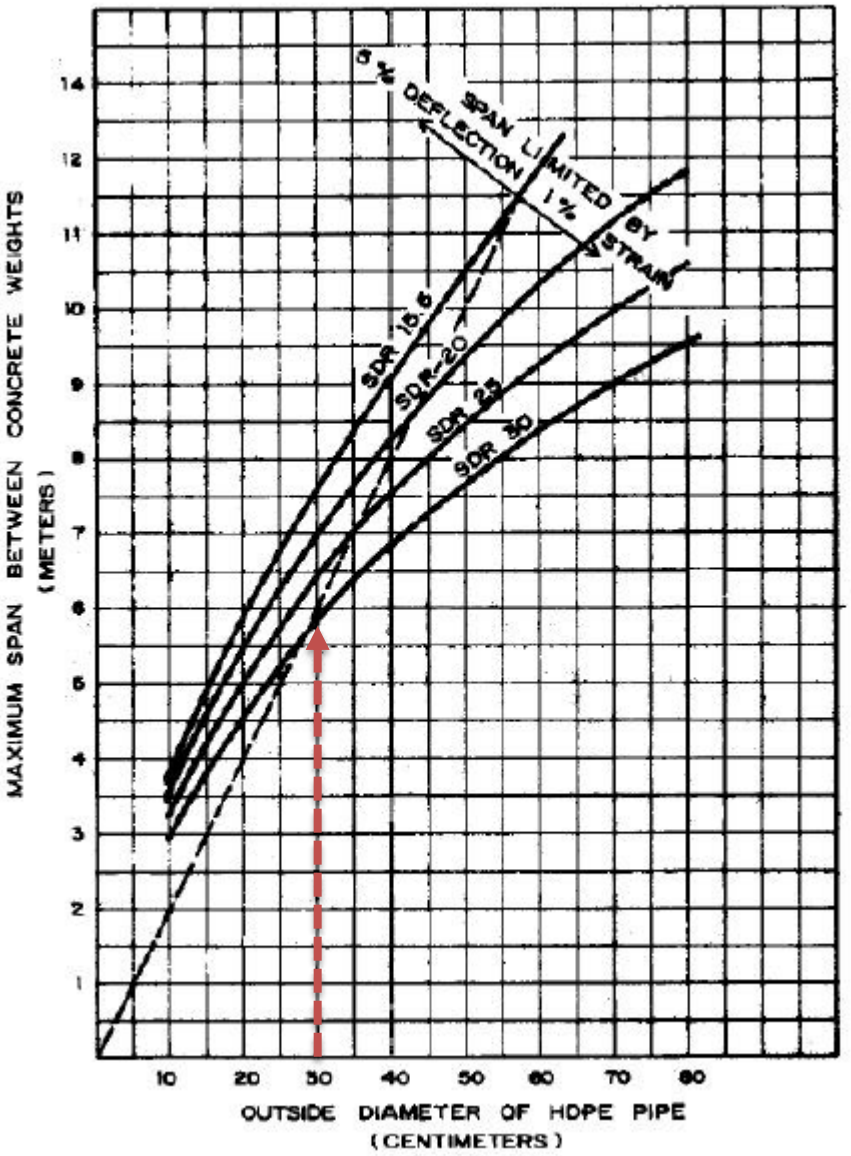



Figura 4.17 – Espaçamento máximo entre anéis de contrapeso de betão para emissários submarinos de PEAD, *Reiff (2002)*

### 4.3.1. EMISSÁRIO SUBMARINO DA CALHETA

Localizada na costa Sul da Ilha da Madeira, a ETAR da Calheta realiza o tratamento das águas residuais de um aglomerado populacional de 3678 habitantes equivalentes no ano de 2014, a que corresponde um caudal médio diário de 735.5 $m^3/d$. As projeções demográficas, realizadas pela entidade gestora da ETAR, perspetivam um forte crescimento populacional estimando-se, para o ano de 2044, 8245 habitantes equivalentes e um caudal médio diário anual de 1649 $m^3/d$. As características topográficas locais, Figura 4.17, caracterizadas pela existência de vales encaixados e fortes inclinações, contribui para a existência de pequenas bacias hidrográficas e consequentemente um reduzido caudal afluente à estação de tratamento (*Neves, 2013)*

Figura 4.18 – Imagem aérea da zona de implantação do emissário submarino da Calheta, *Google Earth (2014).*

Caudal de dimensionamento

O emissário submarino da Calheta deverá realizar a descarga das águas residuais tratadas na ETAR da Calheta após tratamento preliminar. Essa ETAR é alimentada por uma estação elevatória equipada com 2+1 grupos elevatórios que debitam um caudal total de cerca de 100 L/s. A regularização de caudais é portanto garantida previamente à entrada das águas residuais à ETAR, não sendo, por esse motivo, necessária a instalação de uma câmara de carga para esse fim. A entidade gestora da ETAR propõe um funcionamento individual dos grupos elevatórios, a que corresponde cerca de 60% do caudal total debitado pelo conjunto, isto é, um caudal de 60 L/s. Nesse sentido, o emissário submarino deverá possuir capacidade para descarregar um caudal de 60 L/s em boas condições hidráulicas e ambientais.

Batimetria e perfil longitudinal do fundo marítimo

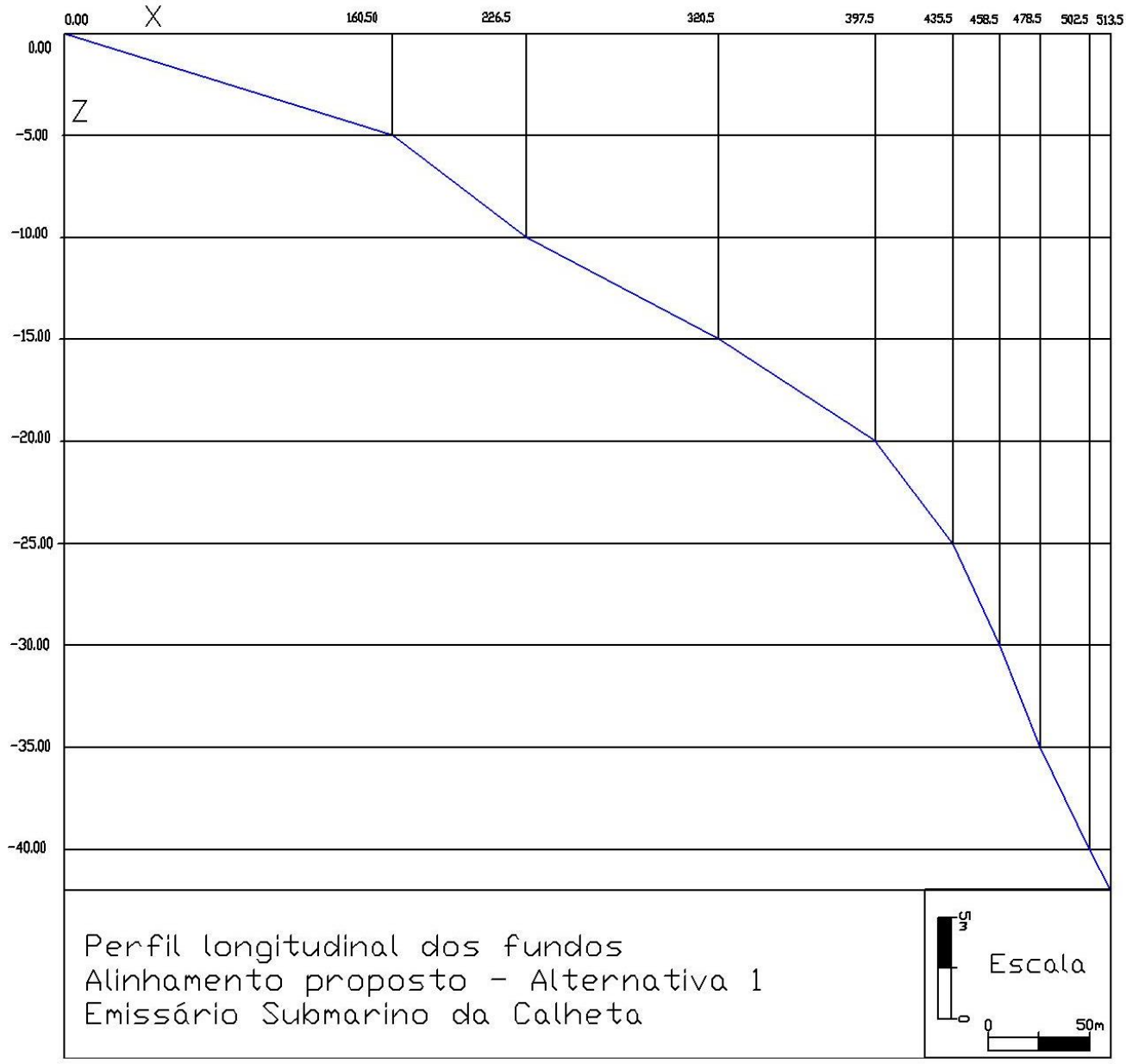



Figura 4.19 - Perfil longitudinal dos fundos no alinhamento proposto para construção do emissário submarino da Calheta.

Solução hidráulica

O emissário submarino da Calheta deverá ser realizado em PEAD, sendo apresentadas na Tabela 4.4 as diferentes condições de funcionamento para um conjunto de soluções selecionadas.

Calheta

| | | | Diâmetro | | | Velocidade mínima | | | Resultado | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Q | Risers | $D_E$ | $D_D$ | $D_{R/P}$ | $V_E$ | $V_D$ | $V_{R/P}$ | $L_M$ | $L_T$ | Z | $C_{C.T.}$ | $C_{F.}$ | $Z_{piezo.\ ETAR}$ | $e_R$ |
| | [l/s] | [-] | [mm] | [mm] | [mm] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [un/100ml] | [un/100ml] | [m] | [m] |
| A | 60 | 4 | 300 | 300_200 | 150 | 0.85 | 0.42 | 0.74 | 226.5 | 331.5 | 10 | 9114 | 911 | 5.5 | 5 |
| B | 60 | 4 | 300 | 300_200 | 150 | 0.85 | 0.42 | 0.74 | 320.5 | 331.5 | 15 | 4401 | 440 | 6.1 | 5 |
| C | 60 | 4 | 300 | 300_200 | 150 | 0.85 | 0.40 | 0.72 | 320.5 | 331.5 | 15 | 2181 | 218 | 6.1 | 10 |
| E | 60 | 4 | 300 | 300_200 | 150 | 0.85 | 0.42 | 0.74 | 397.5 | 331.5 | 20 | 2693 | 269 | 6.6 | 5 |
| F | 60 | 4 | 300 | 300_200 | 150 | 0.85 | 0.40 | 0.71 | 397.5 | 331.5 | 20 | 1349 | 135 | 6.6 | 10 |

Tabela 4.3 - Soluções hidráulicas para o emissário submarino da Calheta.

em que $Q$ $[l/s]$ corresponde ao caudal descarregado pelo emissário submarino, $D_E$ $[mm]$ ao diâmetro interno do emissário submarino, $D_D$ $[mm]$ ao diâmetro do difusor, $D_{RP}$ [mm] ao diâmetro dos *risers* e das portas de descarga, $V_E$ $[m/s]$ à velocidade mínima do escoamento no emissário, $V_D$ $[m/s]$ à velocidade mínima no difusor, $V_{RP}$ $[m/s]$ à velocidade mínima do escoamento no conjunto *riser*/porta na posição mais desfavorável, $L_M$ $[m]$ ao comprimento do troço marítimo do emissário, $L_T$ $[m]$ ao comprimento do troço terrestre do emissário, $Z$ $[m]$ à profundidade máxima, $C_{C.T.}$ $[un/100ml]$ à concentração de coliformes totais junto à costa, $C_F$ $[un/100ml]$ à concentração de coliformes fecais junto à costa, $Z_{Mín.C.C.}$ $[m]$ à cota mínima a garantir na ETAR para funcionamento gravítico do sistema e $e_R$ $[m]$ ao espaçamento entre *risers.*

Análise crítica

O conjunto de soluções apresentado para o emissário submarino da Calheta demonstra que, mesmo quando impostas as condições de dimensionamento, que deverão ocorrer com carácter de exceção ao longo do ano, é possível garantir um elevado nível de qualidade das águas balneares, de acordo com as especificações do Anexo I da Diretiva 2006/7/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, uma vez atingidas cotas entre -15.00 e -20.00. Assim, face à intensidade de utilização das águas costeiras para fins recreativos nas imediações do emissário submarino da Calheta, deverá ser estabelecido o nível de exigência adequado para a qualidade da água e adotada uma solução em conformidade. Note-se que as condições ambientais, sobre as quais foram simuladas as diversas soluções apresentadas na tabela 4.3, correspondem ao pior cenário expectável na costa Sul da Ilha da Madeira e deverão ocorrer em períodos de Inverno, altura em que as atividades recreativas nas zonas costeiras são diminutas.

Solução estrutural

Os resultados condensados relativos ao volume de betão e ao número de anéis determinados pelo dimensionamento estrutural do emissário submarino da Calheta encontram-se representados na tabela 4.4 para os vários cenários de dimensionamento definidos previamente. O cálculo detalhado dos anéis bem como da proteção de enrocamento encontra-se no Anexo A.2.

| Calheta | Zona Corrente | | | | | | | | Zona de Rebentação | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cenário A | | Cenário B | | Cenário C | | Cenário D | | Anéis Afundamento | |
| | $\Sigma N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | $\Sigma N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | $\Sigma N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | $\Sigma N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | $\Sigma N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ |
| | [-] | [m$^3$] | [-] | [m$^3$] | [-] | [m$^3$] | [-] | [m$^3$] | [-] | [m$^3$] |
| A | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 45.3 | 4.6 |
| B | 18.8 | 58.4 | 18.8 | 61.8 | 18.8 | 59.5 | 18.8 | 60.1 | 45.3 | 4.6 |
| C | 18.8 | 58.4 | 18.8 | 61.8 | 18.8 | 59.5 | 18.8 | 60.1 | 45.3 | 4.6 |
| E | 34.2 | 95.1 | 34.2 | 112.5 | 34.2 | 105.5 | 34.2 | 103.0 | 45.3 | 4.6 |
| F | 34.2 | 95.1 | 34.2 | 112.5 | 34.2 | 105.5 | 34.2 | 103.0 | 45.3 | 4.6 |

Tabela 4.4 - Soluções estruturais para anéis de contrapeso de betão - Emissário submarino da Calheta.

Tal como é possível observar, para algumas das soluções todo o emissário se encontra localizado na zona de rebentação relativamente à altura de onda de projeto. É também possível constatar que a utilização de anéis de contrapeso de diferentes dimensões não se traduz em ganhos em termos de volume de betão a despender que justifique o investimento necessário em cofragens de diferente geometria.

Os resultados do dimensionamento da proteção de enrocamento que deverá proteger o emissário submarino na zona de rebentação encontram-se expressos na tabela 4.5,

| Calheta - Proteção de Enrocamento | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ΔZ | ΣL | Trecho | $h_c$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 32.1 | 1 | 1.38 | 0.48 | 0.33 | 32.8 |
| 1-2 | 64.2 | 1 | 1.38 | 0.48 | 0.33 | 32.8 |
| 2-3 | 96.3 | 1 | 1.38 | 0.48 | 0.33 | 32.8 |
| 3-4 | 128.4 | 1 | 1.38 | 0.48 | 0.33 | 32.8 |
| 4-5 | 160.5 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 5-6 | 173.7 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 6-7 | 186.9 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 7-8 | 200.1 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 8-9 | 213.3 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 9-10 | 226.5 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |

Tabela 4.5 – Solução estrutural para proteção de enrocamento - Emissário submarino da Calheta.

em que $\Delta Z\ [m]$ representa um dado intervalo de profundidades, $\sum L\ \ [m]$ o comprimento acumulado da estrutura, $h_c\ [m]$ a altura da estrutura de enrocamento, $D_{n50}\ [m]$ a diâmetro médio dos blocos, $W_{M.R.}\ [t]$ o peso dos blocos do manto resistente e $W_{Núcleo}\ [kg]$ o peso dos blocos do núcleo.

Por forma a otimizar a solução do ponto de vista económico, a extensão de emissário submarino localizada na zona de rebentação foi dividida em trechos, sendo estes analisados individualmente, uma vez que as solicitações a que a estrutura está sujeita diminuem significativamente à medida que a estrutura se aproxima da costa.

### 4.3.2. EMISSÁRIO SUBMARINO DE MACHICO

O vale aberto sobre o qual se desenvolveu a cidade de Machico contrasta ligeiramente com as restantes zonas de estudo. A elevada área ocupada pelo tecido urbano, em relação aos restantes casos, associado à baixa inclinação do terreno, conduz a uma bacia de drenagem de maiores dimensões e, por conseguinte, a caudais médios diários afluentes à ETAR de Machico maiores. A população equivalente atualmente servida pela estação de tratamento consiste em 8636 habitantes, em 2014, prevendo-se no entanto um crescimento populacional para os 15095 habitantes, em 2044, de acordo com a entidade gestora da ETAR.

Figura 4.20 – Imagem aérea da zona de implantação do emissário submarino de Machico, *Google Earth (2014).*

Caudal de dimensionamento

O emissário submarino de Machico deverá descarregar as águas residuais tratadas pela ETAR de Machico que é alimentada por uma estação elevatória composta por 2+1 grupos elevatórios que debita um caudal total de 70 L/s. O caudal máximo afluente expectável pela entidade gestora da ETAR é, no entanto, de 86.46 L/s, prevendo-se, por esse motivo, a possibilidade de, futuramente, proceder a modificações da configuração da estação elevatória por forma a possibilitar a elevação do caudal máximo referido. Nesse sentido, o emissário deverá possuir capacidade para descarregar um caudal máximo de 95.1 L/s, correspondente a uma margem de segurança de 10% do caudal máximo, em boas condições hidráulicas e ambientais. Deverão ainda ser verificadas as características de funcionamento do emissário para um caudal de 70 L/s, correspondente ao funcionamento conjunto dos grupos atualmente instalados, bem como de apenas um grupo, a que corresponde 60% do caudal debitado pelo conjunto, ou seja, 42 L/s.

Batimetria e perfil longitudinal dos fundos

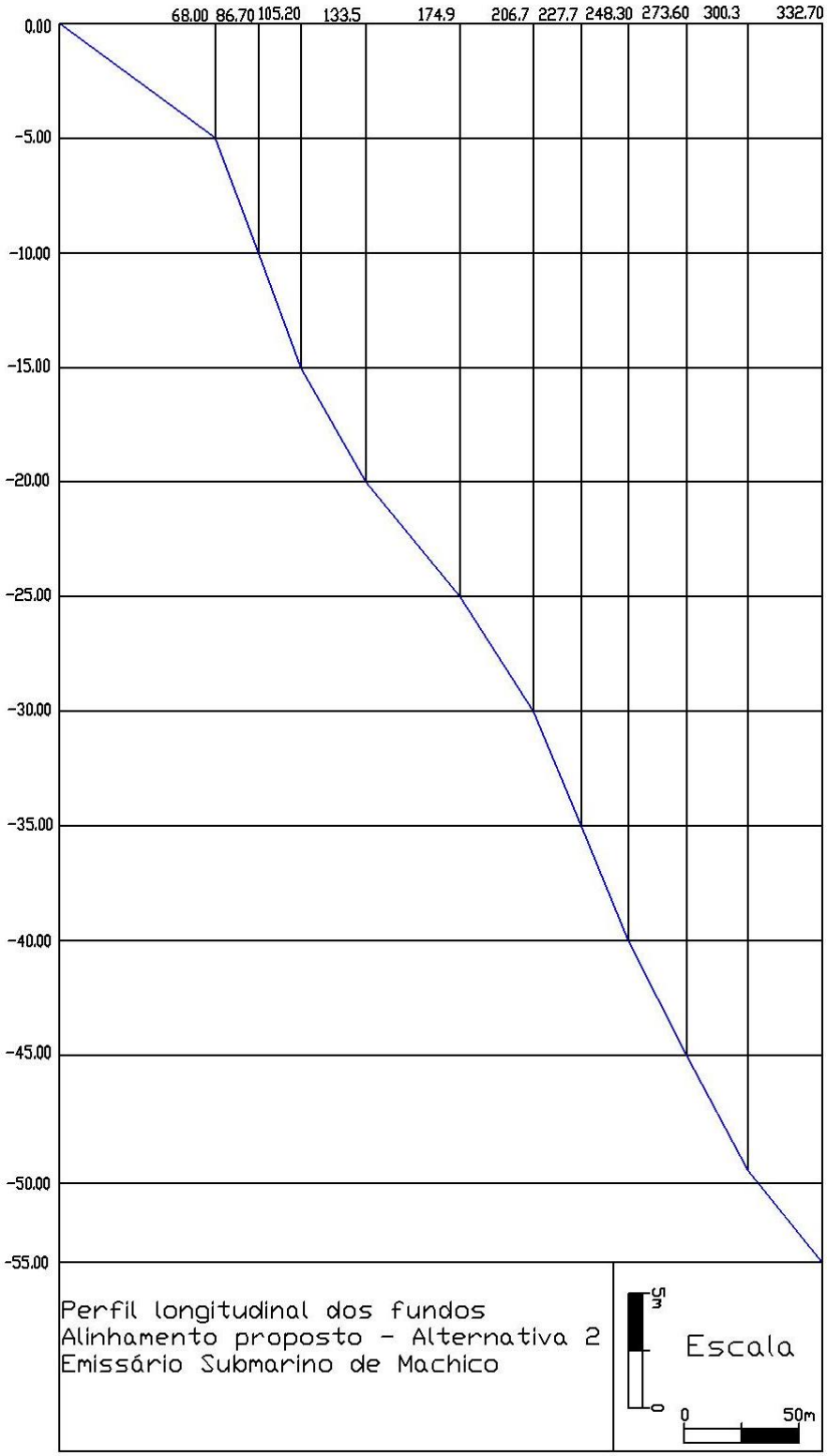



Figura 4.21 - Perfil longitudinal dos fundos no alinhamento proposto para construção do emissário submarino de Machico.

Solução hidráulica

O emissário submarino de Machico deverá ser realizado em PEAD, sendo apresentadas na Tabela 4.5 as diferentes condições de funcionamento para um conjunto de soluções selecionadas.

| | | | Diâmetro | | | Velocidade mínima | | | Resultado | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Q | Risers | $D_E$ | $D_D$ | $D_{R/P}$ | $V_E$ | $V_D$ | $V_{R/P}$ | $L_M$ | $L_T$ | Z | $C_{C.T.}$ | $C_{F.}$ | $Z_{piezo.\ ETAR}$ | $e_R$ |
| | [l/s] | [-] | [mm] | [mm] | [mm] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [un/100ml] | [un/100ml] | [m] | [m] |
| A | 95.1 | 4 | 300 | 300_200 | 150 | 1.35 | 0.66 | 1.17 | 133.5 | 367.7 | 20 | 11237 | 1124 | 9.5 | 5 |
| B | 95.1 | 4 | 300 | 300_200 | 150 | 1.35 | 0.64 | 1.14 | 174.9 | 367.7 | 25 | 3594 | 359 | 10.3 | 10 |
| C | 42 | 4 | 300 | 300_200 | 150 | 0.59 | 0.27 | 0.48 | 133.5 | 367.7 | 20 | 3779 | 378 | 4.1 | 5 |
| D | 42 | 4 | 300 | 300_200 | 150 | 0.59 | 0.25 | 0.45 | 174.9 | 367.7 | 25 | 1209 | 121 | 4.3 | 10 |

Tabela 4.6 - Soluções hidráulicas para o emissário submarino de Machico.

Análise Crítica

As soluções hidráulicas apresentadas para o emissário submarino de Machico revelam a necessidade de um emissário submarino de curta extensão, contribuindo para tal, a forte declividade dos fundos do alinhamento adotado para o emissário. A curtas distâncias da costa é possível atingir profundidades elevadas, sendo que, para as condições adversas de dimensionamento, se revela adequado a realização das descargas entre as cotas -15.00 e -25.00. A sul do local de implantação do emissário, na direção predominante de propagação da pluma de descarga face aos padrões correntométricos típicos da região, encontra-se uma zona de baía onde se realiza a maioria das atividades recreativas ao nível costeiro. É expectável que, na maioria do tempo, a pluma descarregada não seja transportada até à referida baía. No entanto, e face aos resultados apresentados na tabela 4.5, mesmo que tal suceda, é possível garantir que o seu impacto seja diminuto. Note-se que os resultados apresentados correspondem ao transporte da massa de águas residuais num alinhamento paralelo ao emissário, por via de correntes perpendiculares à costa. Assim, os valores apresentados correspondem às concentrações bacteriológicas no local de enraizamento da estrutura, na eventualidade de se verificarem correntes perpendiculares à costa. A distância percorrida pela pluma, nessas condições seria muito reduzida e ainda assim seria possível garantir elevados padrões de qualidade das águas balneares.

Solução estrutural

Os resultados condensados relativos ao volume de betão e do número de anéis determinados pelo dimensionamento estrutural do emissário submarino da Calheta encontram-se representados na tabela 4.7 para os vários cenários de dimensionamento definidos previamente. O cálculo detalhado dos anéis bem como da proteção de enrocamento encontra-se no Anexo A.1.

| Machico | Zona Corrente | | | | | | | | Zona de Rebentação | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cenário 1 | | Cenário 2 | | Cenário 3 | | Cenário 4 | | Anéis Afundamento | |
| | $\Sigma N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | $\Sigma N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | $\Sigma N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | $\Sigma N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | $\Sigma N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ |
| | [-] | [$m^3$] | [-] | [$m^3$] | [-] | [$m^3$] | [-] | [$m^3$] | [-] | [$m^3$] |
| A | 9.4 | 16.5 | 9.4 | 20.2 | 9.4 | 18.3 | 9.4 | 18.3 | 17.0 | 1.7 |
| B | 17.6 | 26.0 | 17.6 | 38.1 | 17.6 | 33.7 | 17.6 | 30.9 | 17.0 | 1.7 |
| C | 9.4 | 16.5 | 9.4 | 20.2 | 9.4 | 18.3 | 9.4 | 18.3 | 17.0 | 1.7 |
| D | 17.6 | 26.0 | 17.6 | 38.1 | 17.6 | 33.7 | 17.6 | 30.9 | 17.0 | 1.7 |

Tabela 4.7 - Soluções estruturais para anéis de contrapeso de betão - Emissário submarino de Machico.

No caso do emissário submarino de Machico, a utilização de diferentes anéis de contrapeso poderá traduzir-se em ganhos no volume de betão a despender até cerca de 7 $m^3$. Naturalmente, apenas através de uma análise orçamental será possível compreender qual a solução mais indicada.

Os resultados relativos ao dimensionamento da proteção de enrocamento a empregar na zona de rebentação do emissário submarino de Machico encontram-se representados na tabela 4.8.

| Machico - Proteção de Enrocamento | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Delta Z$ | $\Sigma L$ | Trecho | $h_{c\ adotado}$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 13.3 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 1-2 | 26.5 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 2-3 | 39.8 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 3-4 | 53.1 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 4-5 | 66.4 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 5-6 | 70.1 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 6-7 | 73.8 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 7-8 | 77.6 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 8-9 | 81.3 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 9-10 | 85.1 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |

Tabela 4.8 – Solução estrutural para proteção de enrocamento - Emissário submarino de Machico.

A forte inclinação dos fundos na zona de rebentação traduz-se numa menor extensão da mesma. Deste modo o troço de emissário submarino a proteger com enrocamento é reduzido não se justificando a realização de um escalonamento da solução.

### 4.3.3. EMISSÁRIO SUBMARINO DE RIBEIRA BRAVA

A ETAR de Ribeira Brava, localizada na costa Sul da Ilha da Madeira, realiza o tratamento das águas residuais de um aglomerado populacional, em 2014, de 5945 habitantes equivalentes a que corresponde um caudal médio diário de 1189 $m^3/d$. A entidade gestora da ETAR prevê um crescimento populacional acentuado, atingindo-se no ano 2044 cerca de 14772 habitantes equivalentes e um caudal médio diário de 2954.3 $m^3/d$.

Figura 4.22 - Imagem aérea da zona de implantação do emissário submarino da Ribeira Brava, *Google Earth (2014).*

Caudal de dimensionamento

O emissário submarino de Ribeira Brava será alimentado por uma estação elevatória composta por 2+1 grupos elevatórios a que corresponde um caudal total de 72.2 L/s. O caudal máximo expectável é no entanto ligeiramente superior, de cerca de 79.64 L/s. Por razões operacionais deverá prever-se a utilização de apenas um grupo elevatório a que corresponde 60% do caudal total, isto é, 43.3 L/s. Assim, o emissário submarino será dimensionado para um caudal de 87.6 L/s, resultante da consideração de uma folga de segurança do caudal máximo expectável de 10%, devendo no entanto verificar-se boas condições de funcionamento para um caudal de 43.3 L/s.

Batimetria e perfil longitudinal dos fundos

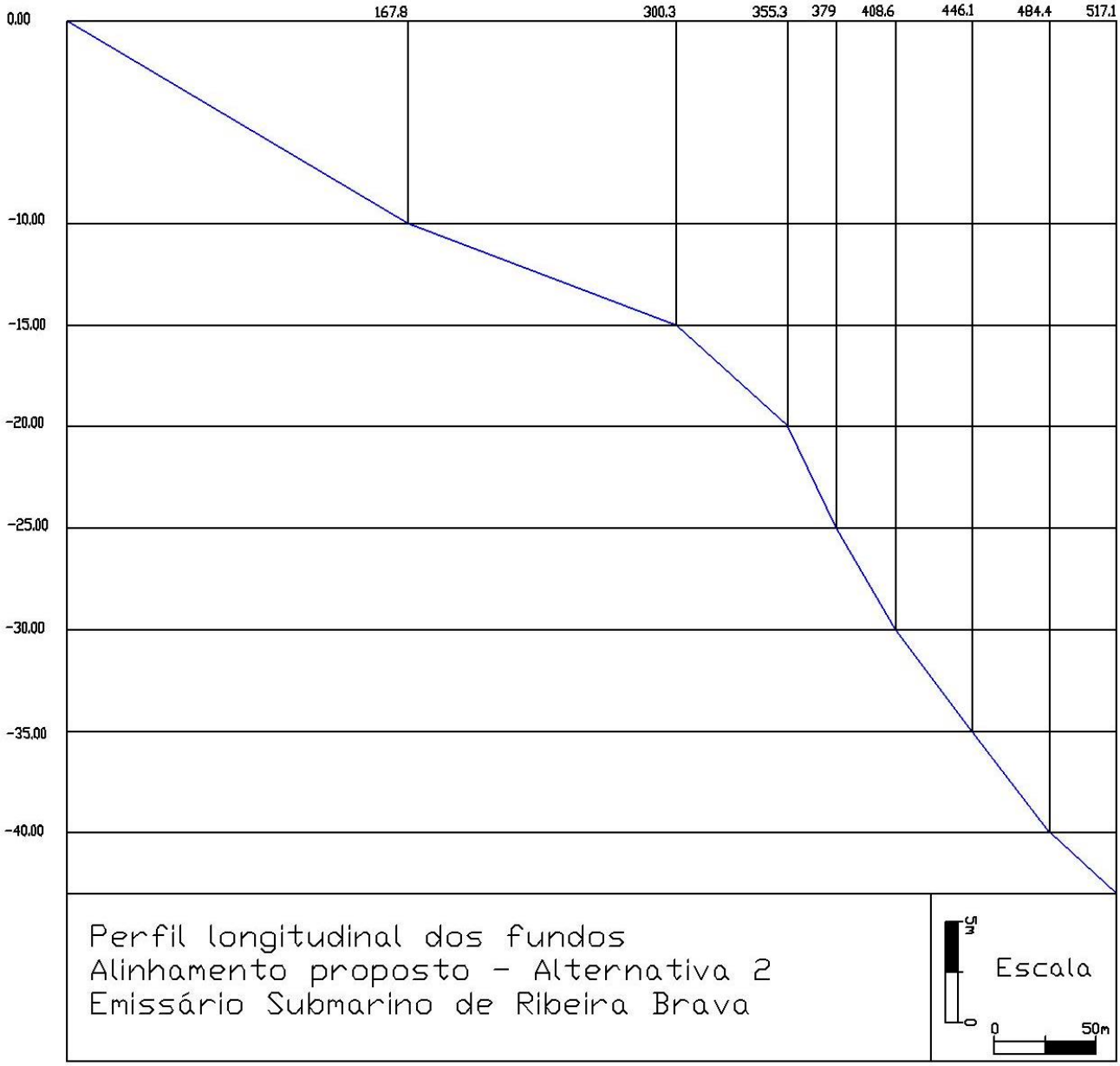



Figura 4.23 - Perfil longitudinal dos fundos no alinhamento proposto para a construção do emissário submarino de Ribeira Brava.

Solução hidráulica

O emissário submarino de Ribeira Brava deverá ser realizado em PEAD, sendo apresentadas na tabela 4.6 as diferentes condições de funcionamento para um conjunto de soluções selecionadas.

| | | | Diâmetro | | | Velocidade mínima | | | Resultado | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Q | Risers | $D_E$ | $D_D$ | $D_{R/P}$ | $V_E$ | $V_D$ | $V_{R/P}$ | $L_M$ | $L_T$ | Z | $C_{C.T.}$ | $C_{F.}$ | $Z_{piezo.\ ETAR}$ | $e_R$ |
| | [l/s] | [-] | [mm] | [mm] | [mm] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [un/100ml] | [un/100ml] | [m] | [m] |
| A | 87.6 | 4 | 300 | 300_200 | 150 | 1.24 | 0.59 | 1.06 | 167.8 | 367.7 | 10 | 8527 | 853 | 8.7 | 10 |
| B | 87.6 | 4 | 300 | 300_200 | 150 | 1.24 | 0.60 | 1.06 | 300.3 | 367.7 | 15 | 3667 | 367 | 10.1 | 10 |
| C | 43 | 4 | 300 | 300_200 | 150 | 0.61 | 0.28 | 0.50 | 167.8 | 367.7 | 10 | 3333 | 333 | 4.1 | 10 |
| D | 43 | 4 | 300 | 300_200 | 150 | 0.61 | 0.29 | 0.51 | 300.3 | 367.7 | 15 | 1433 | 143 | 4.5 | 10 |

Tabela 4.9 - Soluções hidráulicas para o emissário submarino de Ribeira Brava.

Análise Crítica

Dada a previsão de um aumento substancial, a longo prazo, do caudal a descarregar pelo emissário submarino da Ribeira Brava, deverá ser adotada uma solução conservativa que garanta a manutenção da qualidade das águas costeiras para o máximo caudal expectável. As características correntométricas locais indicam que, predominantemente, a pluma deverá ser arrastada na direção Este. Dada a existência de uma praia de alguma dimensão a Este do ponto de descarga, manifesta-se a importância de adotar uma solução que garanta elevados padrões de qualidade das águas costeiras nesse local. Note-se que a declividade do fundo marítimo até à cota -15.00 é relativamente baixa, situação desfavorável, com algum impacto no comprimento do emissário.

Solução Estrutural

Os resultados condensados relativos ao volume de betão e do número de anéis determinados pelo dimensionamento estrutural do emissário submarino de Ribeira Brava encontram-se representados na tabela 4.10 para os vários cenários de dimensionamento definidos previamente. O cálculo detalhado dos anéis bem como da proteção de enrocamento encontra-se no Anexo A.2.

| Ribeira Brava | Zona Corrente | | | | | | | | Zona de Rebentação | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cenário 1 | | Cenário 2 | | Cenário 3 | | Cenário 4 | | Anéis Afundamento | |
| | $\Sigma N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | $\Sigma N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | $\Sigma N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | $\Sigma N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | $\Sigma N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ |
| | [-] | [$m^3$] | [-] | [$m^3$] | [-] | [$m^3$] | [-] | [$m^3$] | [-] | [$m^3$] |
| A | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 60.1 | 6.1 |
| B | 11.0 | 22.5 | 11.0 | 23.8 | 11.0 | 23.8 | 11.0 | 23.8 | 60.1 | 6.1 |
| C | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 60.1 | 6.1 |
| D | 11.0 | 22.5 | 11.0 | 23.8 | 11.0 | 23.8 | 11.0 | 23.8 | 60.1 | 6.1 |

Tabela 4.10 - Soluções estruturais para anéis de contrapeso de betão - Emissário submarino de Ribeira Brava.

A baixa profundidade a que se localiza o ponto de descarga das soluções apresentadas para o emissário submarino de Ribeira Brava, definidas pelo dimensionamento hidráulico, traduz-se numa curta extensão do emissário submarino fora da zona de rebentação. Tal como é possível constatar o número de anéis necessários é reduzido e, por esse motivo, poderá haver interesse em modificar a solução apresentada no sentido de utilizar anéis de contrapeso idênticos aos de um outro emissário. Ainda que resulte numa

solução potencialmente sobredimensionada, a utilização da cofragem de um outro emissário poderá conduzir a uma solução global mais económica.

O dimensionamento da proteção de enrocamento a empregar na zona de rebentação resulta na solução apresentada na tabela 4.11.

| Ribeira Brava - Proteção de Enrocamento | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Delta Z$ | $\Sigma L$ | Trecho | $h_{c\ adotado}$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 33.6 | 1 | 1.25 | 0.35 | 0.12 | 12.3 |
| 1-2 | 67.1 | 1 | 1.25 | 0.35 | 0.12 | 12.3 |
| 2-3 | 100.7 | 1 | 1.25 | 0.35 | 0.12 | 12.3 |
| 3-4 | 134.3 | 2 | 1.44 | 0.54 | 0.48 | 47.7 |
| 4-5 | 167.8 | 2 | 1.44 | 0.54 | 0.48 | 47.7 |
| 5-6 | 194.3 | 2 | 1.44 | 0.54 | 0.48 | 47.7 |
| 6-7 | 220.8 | 3 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 7-8 | 247.3 | 3 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 8-9 | 273.8 | 3 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 9-10 | 300.3 | 3 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |

Tabela 4.11 – Solução estrutural para proteção de enrocamento - Emissário submarino de Ribeira Brava.

### 4.3.4. EMISSÁRIO SUBMARINO DE PORTO DA CRUZ

O emissário submarino de Porto da Cruz é o único emissário em estudo localizado na costa Norte da Ilha da Madeira, estando por isso submetido a fenómenos de agitação marítima mais intensos do que os restantes casos de estudo. Sendo a orientação predominante da agitação marítima de Norte ou Noroeste, as ondas que atingem a costa Sul da ilha sofreram já processos de difração, reduzindo-se substancialmente as alturas de onda originalmente vindas de Norte, algo de que não beneficiará o emissário submarino de Porto da Cruz. A entidade gestora da ETAR de Porto da Cruz estima que aflua à estação um caudal médio diário de cerca de 71.1 $m^3/d$ em 2014 que deverá aumentar para 581.1 $m^3/d$ até 2044, correspondente a um crescimento populacional de 356 para 2906 habitantes equivalentes, respetivamente.

Figura 4.24 – Imagem aérea da zona de implantação do emissário submarino de Porto da Cruz, *Google Earth (2014).*

Caudal de dimensionamento

A ETAR de Porto da Cruz é alimentada por uma estação elevatória composta por 1+1 grupos elevatórios a que corresponde um caudal total de 38.4 L/s. O caudal afluente máximo previsível deverá ser cerca de 19.74 L/s, equacionando-se por conseguinte uma remodelação da estação elevatória tendo em vista a compatibilização dos dois caudais. Assim, o emissário submarino deverá ser dimensionado para um caudal de 21.7 L/s, a que corresponde uma margem de segurança de 10% em relação ao caudal afluente máximo.

Batimetria e perfil longitudinal dos fundos

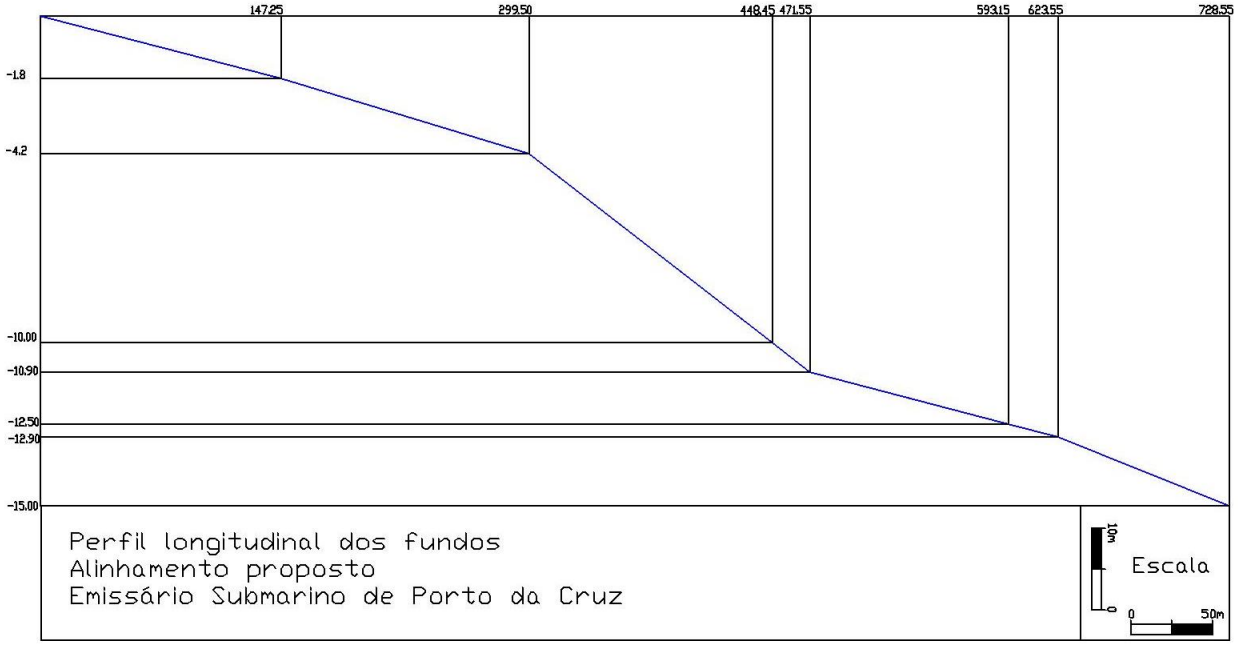



Figura 4.25 - Perfil longitudinal dos fundos no alinhamento proposto para construção do emissário submarino de Porto da Cruz.

Solução hidráulica

O emissário submarino de Porto da Cruz deverá ser realizado em PEAD, sendo apresentadas na tabela 4.6 as diferentes condições de funcionamento para um conjunto de soluções selecionadas.

| | | | Diâmetro | | | Velocidade mínima | | | Resultado | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Q | Risers | $D_E$ | $D_D$ | $D_{R/P}$ | $V_E$ | $V_D$ | $V_{R/P}$ | $L_M$ | $L_T$ | Z | $C_{C.T.}$ | $C_{F.}$ | $Z_{piezo.\ ETAR}$ | $e_R$ |
| | [l/s] | [-] | [mm] | [mm] | [mm] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [un/100ml] | [un/100ml] | [m] | [m] |
| A | 21.7 | 2 | 200 | 200 | 100 | 0.69 | 0.34 | 1.38 | 448.446 | N/A | 10 | 6987 | 699 | 3.9 | 2.5 |
| B | 21.7 | 2 | 200 | 200 | 100 | 0.69 | 0.34 | 1.38 | 593.15 | N/A | 12.5 | 3737 | 374 | 4.8 | 2.5 |
| C | 21.7 | 2 | 200 | 200 | 100 | 0.69 | 0.34 | 1.38 | 728.55 | N/A | 15 | 2224 | 222 | 5.6 | 2.5 |

Tabela 4.12 - Soluções hidráulicas para o emissário submarino de Porto da Cruz

Análise Crítica

O emissário submarino de Porto da Cruz irá descarregar um caudal reduzido, razão pela qual deverá ser executado com um diâmetro inferior aos restantes emissários, com o objetivo de garantir velocidades aceitáveis do ponto de vista da manutenção de alguma capacidade de autolimpeza. A declividade do fundo marítimo na zona de Porto da Cruz é muito baixa, contrastando com os restantes locais de estudo, razão pela qual foi necessário adotar uma distorção de escala muito superior na Figura 4.24. A profundidade desemprenha um papel crucial do ponto de vista da eficiência do emissário submarino, com muito maior relevância do que a distância do ponto de descarga à costa, tal como se pode constatar pelas soluções obtidas para o caso de Porto da Cruz. Apesar do reduzido caudal efluente, trata-se do

emissário mais extenso do conjunto analisado. Por se encontrar no interior de uma baia, a elevada extensão do emissário é desejável tendo por vista a minimização da possibilidade de intrusão da pluma residual para o interior da baia. Note-se que, o caso retratado na tabela 4.7. baseia-se precisamente na circunstância em que a pluma é arrastada paralelamente ao emissário submarino, isto é, em direção à referida baia. Ainda assim, os padrões de qualidade das águas balneares são elevados, sendo previsível, ainda que face a situações adversas, a manutenção de uma qualidade "excelente" de acordo com o Anexo I da Diretiva 2006/7/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, uma vez adotadas as soluções B ou C. Apesar de se situar na costa Norte da Ilha da Madeira, as soluções hidráulicas apresentadas para o emissário submarino de Porto da Cruz foi também dimensionado com base numa velocidade de corrente de 0.2 m/s em direção à costa, à semelhança dos restantes casos analisados. A costa Norte da Ilha apresenta condições de dinâmica marítima, muito distintas do que sucede na costa Sul. Ainda assim, dado o desconhecimento existente relativamente às condições correntométricas locais em Porto de Cruz, admite-se que os pressupostos sobre os quais se baseou a opção de utilização daquele valor para a velocidade da corrente de dimensionamento possam ser válidos para o caso de Porto de Cruz.

Solução Estrutural

Os resultados condensados relativos ao volume de betão e do número de anéis determinados pelo dimensionamento estrutural do emissário submarino de Porto da Cruz encontram-se representados na tabela 4.13 para os vários cenários de dimensionamento definidos previamente. O cálculo detalhado dos anéis bem como da proteção de enrocamento encontra-se no Anexo A.2.

| Porto da Cruz | Zona Corrente | | | | | | | | Zona de Rebentação | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cenário 1 | | Cenário 2 | | Cenário 3 | | Cenário 4 | | Anéis Afundamento | |
| | $\Sigma N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | $\Sigma N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | $\Sigma N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | $\Sigma N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | $\Sigma N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ |
| | [-] | [$m^3$] | [-] | [$m^3$] | [-] | [$m^3$] | [-] | [$m^3$] | [-] | [$m^3$] |
| A | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 88.9 | 3.7 |
| B | 43.0 | 27.3 | 43.0 | 27.5 | 43.0 | 27.4 | 43.0 | 27.5 | 88.9 | 3.7 |
| C | 80.1 | 155.6 | 80.1 | 169.8 | 80.1 | 158.0 | 80.1 | 169.8 | 88.9 | 3.7 |

Tabela 4.13 - Soluções estruturais para anéis de contrapeso de betão - Emissário submarino de Porto da Cruz.

O dimensionamento da proteção de enrocamento a empregar na zona de rebentação resulta na solução apresentada na tabela 4.14.

| Porto de Cruz - Proteção de Enrocamento | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Delta Z$ | $\Sigma L$ | Trecho | $h_{c\ adotado}$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 81.8 | 1 | 0.84 | 0.24 | 0.04 | 4.0 |
| 1-2 | 163.7 | 1 | 0.84 | 0.24 | 0.04 | 4.0 |
| 2-3 | 227.1 | 2 | 0.97 | 0.37 | 0.15 | 14.9 |
| 3-4 | 290.6 | 2 | 0.97 | 0.37 | 0.15 | 14.9 |
| 4-5 | 316.3 | 3 | 1.33 | 0.73 | 1.16 | 115.6 |
| 5-6 | 341.9 | 3 | 1.33 | 0.73 | 1.16 | 115.6 |
| 6-7 | 367.6 | 3 | 1.33 | 0.73 | 1.16 | 115.6 |
| 7-8 | 393.3 | 3 | 1.33 | 0.73 | 1.16 | 115.6 |
| 8-9 | 419.0 | 3 | 1.33 | 0.73 | 1.16 | 115.6 |
| 9-10 | 444.7 | 3 | 1.33 | 0.73 | 1.16 | 115.6 |

Tabela 4.14 – Solução estrutural para proteção de enrocamento - Emissário submarino de Porto da Cruz.

O fundo marítimo de Porto da Cruz caracteriza-se por uma inclinação reduzida em águas pouco profundas, resultando por esse motivo numa extensa zona de rebentação. Como tal, justifica-se a realização de um escalonamento da solução apresentada para a proteção de enrocamento. A extensão total da zona de rebentação, cerca de 440 m, foi dividia em três trechos de aproximadamente 150 m. Em cada trecho o perfil transversal da solução a adotar deverá manter-se constante.

### 4.3.5. EMISSÁRIO SUBMARINO DE CÂMARA DE LOBOS

O emissário submarino de Câmara de Lobos deverá prever duas hipóteses de projeto, associadas à possibilidade de integração dos caudais provenientes das Freguesias de Santo António e São Martinho no volume de águas residuais tratados pela ETAR de Câmara de Lobos, que se encontra também em fase de projeto. A cidade de Câmara de Lobos é constituída por um aglomerado populacional de cerca de 17986 habitantes (Censos, 2011), prevendo-se um volume diário médio de águas residuais, para dimensionamento da ETAR, de 6082.2 $m^3/d$ ou 8404.4 $m^3/d$ correspondentes à exclusão ou integração, respetivamente, dos caudais provenientes das freguesias de São Martinho e Santo António.

Figura 4.26 – Imagem aérea da zona de implantação do emissário submarino da Câmara de Lobos, *Google Earth (2014).*

Caudal de dimensionamento

O estudo de soluções hidráulicas para o emissário submarino de Câmara de Lobos deverá prever duas possíveis situações de dimensionamento. A ETAR de Câmara de Lobos deverá realizar o tratamento preliminar das águas residuais de Câmara de Lobos, equacionando-se, no entanto, a possibilidade de integrar as freguesias de Santo António e São Martinho no referido sistema.

O caudal de dimensionamento, para o caso de apenas ser aduzido à ETAR o volume de águas residuais correspondente a Câmara de Lobos deverá ser de 122.2 L/s, correspondente ao caudal máximo afluente, garantido por uma estação elevatória. No cenário em que o caudal proveniente das freguesias de Santo António e São Martinho seja integrado no sistema, o caudal de dimensionamento deverá corresponder ao caudal máximo afluente de 166.67 L/s, também este garantido por uma estação elevatória. Os caudais médios diários para cada cenário deverão ser 6082.2 $m^3/dia$ e 8404.4 $m^3/dia$, respetivamente.

Batimetria e perfil longitudinal dos fundos

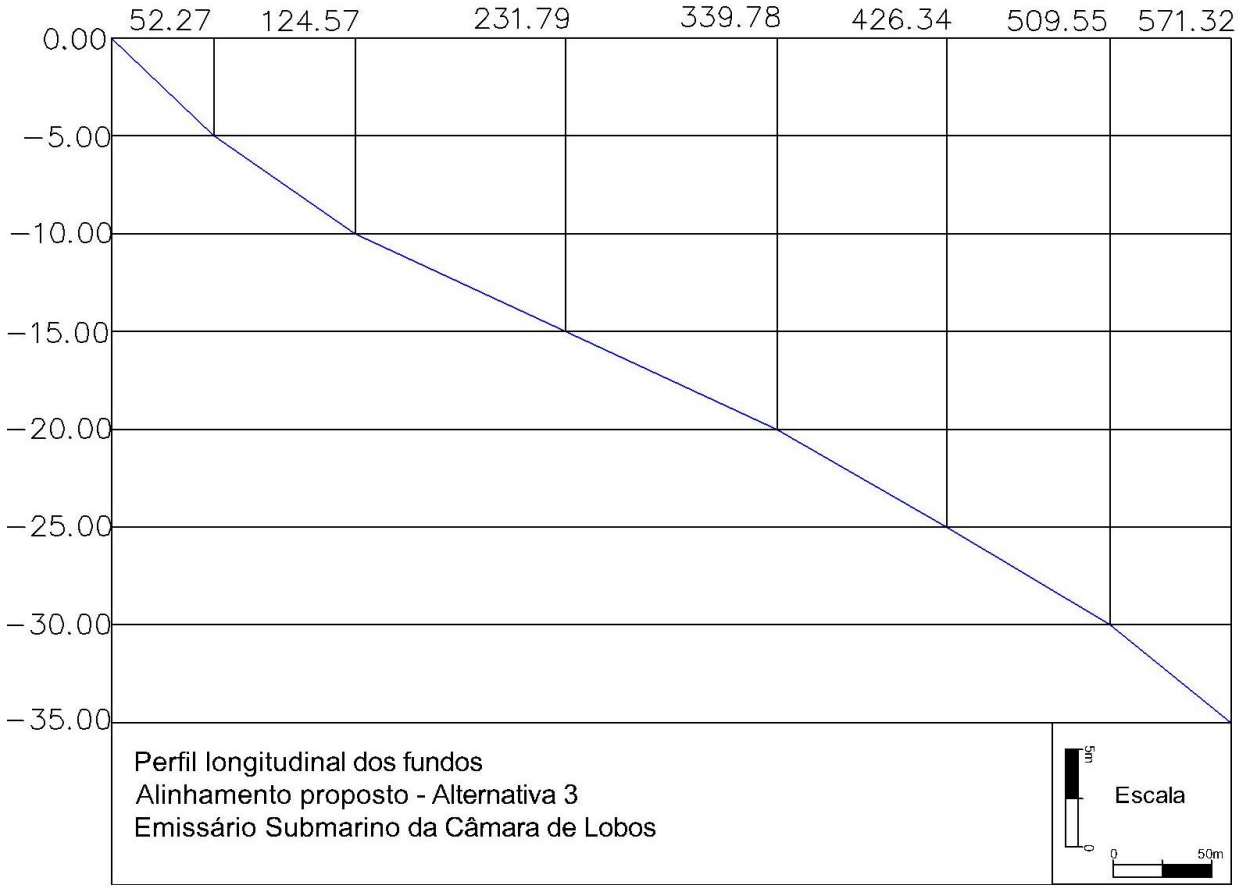



Figura 4.27 - Perfil longitudinal dos fundos no alinhamento proposto para a construção do emissário submarino de Câmara de Lobos.

Solução hidráulica

O emissário submarino de Câmara de Lobos deverá ser realizado em PEAD, sendo apresentadas na tabela 4.9 as diferentes condições de funcionamento para um conjunto de soluções selecionadas.

| | | | Diâmetro | | | Velocidade mínima | | | Resultado | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Q | Risers | $D_E$ | $D_D$ | $D_{R/P}$ | $V_E$ | $V_D$ | $V_{R/P}$ | $L_M$ | $L_T$ | Z | $C_{C.T.}$ | $C_{F.}$ | $Z_{piezo.\ ETAR}$ | $e_R$ |
| | [l/s] | [-] | [mm] | [mm] | [mm] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [un/100ml] | [un/100ml] | [m] | [m] |
| A | 166.7 | 4 | 400 | 400_300 | 200 | 1.33 | 0.53 | 1.20 | 339.78 | 40 | 20 | 5860 | 586 | 6.5 | 10 |
| B | 166.7 | 4 | 400 | 400_300 | 200 | 1.33 | 0.53 | 1.19 | 426.34 | 40 | 25 | 3819 | 382 | 7.3 | 10 |
| C | 166.7 | 4 | 400 | 400_300 | 200 | 1.33 | 0.53 | 1.19 | 509.55 | 40 | 30 | 2602 | 260 | 8 | 10 |
| D | 122.2 | 4 | 400 | 400_300 | 200 | 0.97 | 0.39 | 0.87 | 339.78 | 40 | 20 | 3875 | 387 | 4.8 | 10 |
| E | 122.2 | 4 | 400 | 400_300 | 200 | 0.97 | 0.39 | 0.87 | 426.34 | 40 | 25 | 2526 | 253 | 5.3 | 10 |
| F | 122.2 | 4 | 300 | 300_200 | 200 | 1.73 | 0.84 | 1.48 | 339.78 | 40 | 20 | 3875 | 387 | 11.9 | 10 |
| G | 122.2 | 4 | 300 | 300_200 | 200 | 1.73 | 0.83 | 1.48 | 426.34 | 40 | 20 | 2508 | 251 | 13.7 | 10 |

Tabela 4.15 - Soluções hidráulicas para o emissário submarino de Câmara de Lobos.

Análise Crítica

O emissário submarino de Câmara de Lobos, na eventualidade de se verificar o cenário em que o caudal proveniente das freguesias de São Martinho e Santo António é integrado no sistema de Câmara de Lobos, deverá ser realizado com um diâmetro de 400 mm, contrastando com as restantes soluções. Em termos de funcionamento hidráulico essa situação é muito favorável uma vez que propicia velocidades de escoamento superiores no seio do difusor, favoráveis do ponto de vista de autolimpeza do sistema. Verificando-se, pelo contrário, o cenário em que apenas o caudal proveniente de Câmara de Lobos é descarregado pelo emissário, a solução a adotar poderá ser semelhante à dos restantes emissários.

Solução Estrutural

Os resultados condensados do volume de betão e do número de anéis determinados pelo dimensionamento estrutural do emissário submarino de Câmara de Lobos encontram-se representados na tabela 4.16 para os vários cenários de dimensionamento definidos previamente. O cálculo detalhado dos anéis bem como da proteção de enrocamento encontra-se no Anexo A.2.

| Câmara de Lobos | Zona Corrente | | | | | | | | Zona de Rebentação | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cenário 1 | | Cenário 2 | | Cenário 3 | | Cenário 4 | | Anéis Afundamento | |
| | $\Sigma N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | $\Sigma N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | $\Sigma N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | $\Sigma N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | $\Sigma N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ |
| | [-] | [m$^3$] | [-] | [m$^3$] | [-] | [m$^3$] | [-] | [m$^3$] | [-] | [m$^3$] |
| A | 43.0 | 79.6 | 43.0 | 94.8 | 43.0 | 84.6 | 43.0 | 87.1 | 24.9 | 4.1 |
| B | 60.4 | 100.2 | 60.4 | 133.0 | 60.4 | 108.2 | 60.4 | 115.8 | 24.9 | 4.1 |
| C | 18.8 | 38.4 | 18.8 | 40.6 | 18.8 | 39.1 | 18.8 | 39.5 | 24.9 | 4.1 |
| D | 43.0 | 79.6 | 43.0 | 94.8 | 43.0 | 84.6 | 43.0 | 87.1 | 24.9 | 4.1 |
| E | 60.4 | 100.2 | 60.4 | 133.0 | 60.4 | 108.2 | 60.4 | 115.8 | 24.9 | 4.1 |
| F | 43.0 | 79.6 | 43.0 | 94.8 | 43.0 | 84.6 | 43.0 | 87.1 | 24.9 | 4.1 |
| G | 43.0 | 79.6 | 43.0 | 94.8 | 43.0 | 84.6 | 43.0 | 87.1 | 24.9 | 4.1 |

Tabela 4.16 - Soluções estruturais para anéis de contrapeso de betão - Emissário submarino de Porto da Cruz.

| Câmara de Lobos - Proteção de Enrocamento | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Delta Z$ | $\Sigma L$ | Trecho | $h_{c\ adotado}$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 10.5 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 1-2 | 20.9 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 2-3 | 31.4 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 3-4 | 41.8 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 4-5 | 52.3 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 5-6 | 66.7 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 6-7 | 81.2 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 7-8 | 95.6 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 8-9 | 110.1 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 9-10 | 124.6 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |

Tabela 4.17 – Solução estrutural para proteção de enrocamento - Emissário submarino de Câmara de Lobos.

O dimensionamento da proteção de enrocamento a empregar na zona de rebentação resulta na solução apresentada na tabela 4.17.

A forte inclinação do fundo marítimo de Câmara de Lobos resulta numa extensão de emissário submarino exposto à rebentação das ondas relativamente reduzido. Como tal não se justifica, do ponto de vista económico, o escalonamento da solução adotando-se apenas um perfil transversal para toda a estrutura.

### 4.3.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As fortes semelhanças em termos de condições de dimensionamento dos emissários submarinos da Calheta, Machico e Ribeira Brava, sobretudo ao nível de caudais e do pré-tratamento realizado na ETAR, permite uma uniformização das soluções hidráulicas previamente apontadas, com possíveis ganhos em termos orçamentais e em termos de eficiência construtiva. A utilização do mesmo diâmetro para os três emissários, 300 mm, deverá permitir alguma redução de custos associados à sua aquisição. Existe ainda a possibilidade de realizar o emissário submarino de Câmara de Lobos com as mesmas características geométricas dos emissários já referidos, aumentando o nível de uniformização das soluções. A utilização de difusores semelhantes para os três casos deverá permitir uma melhor eficiência de pré-fabricação, simplificando as tarefas a realizar em estaleiro. Recorda-se que todos os emissários poderão ser executados num único estaleiro de obra e rebocados maritimamente para o seu local de implantação.

Na generalidade dos casos, as soluções apontam para emissários de curta extensão, fruto da forte inclinação dos fundos, característica de uma ilha de génese vulcânica. De facto, zonas costeiras de elevada declividade são locais primordiais para instalação de emissários submarinos uma vez que, a curtas distâncias da costa são atingidas elevadas profundidades. Demonstra-se, assim, que o fator mais relevante do ponto de vista do comportamento ambiental de um emissário submarino é a profundidade do ponto de descarga, sendo a sua distância à costa um aspeto secundário. Como tal, face a características de pré-tratamento semelhantes, em todos os casos estudados obtêm-se soluções satisfatórias entre as cotas -15.00 e -25.00, sendo no entanto o comprimento dos emissários muito variável.

Refere-se, novamente, que as soluções obtidas se baseiam num conjunto de considerações sustentadas na utilização de valores de referência e por comparação com casos de estudo semelhantes, sendo por isso da maior relevância que, em fases posteriores de projeto, sejam estudados com maior detalhe alguns parâmetros desconhecidos, nomeadamente, a obtenção de dados correntométricos nas zonas de descarga, determinação laboratorial do parâmetro $T_{90}$ e quantificação das concentrações de coliformes totais e fecais do efluente descarregado pelos emissários.

Todos os emissários submarinos analisados possuem a baixos caudais de funcionamento. Por esse motivo torna-se necessário o estabelecimento de um compromisso entre o diâmetro mínimo aceitável e a velocidade do escoamento. Quanto menor o diâmetro adotado, maior será o risco de bloqueio associado à intrusão de objetos sólidos no sistema e mais intensa será a diminuição de secção associada à acumulação de uma camada de biofilme ao longo do perímetro interno da conduta. Por outro lado, a utilização de diâmetros de maiores dimensões, conduz a menores velocidades de escoamento intensificando-se também os fenómenos de acumulação de sedimentos e formação de biofilme, por redução da capacidade de limpeza do escoamento sobre as paredes da conduta. Em termos da distribuição de caudais ao longo do difusor, verifica-se que, quanto maior a relação de diâmetros entre o difusor e os *risers*, mais uniforme será a distribuição de caudais resultante. Note-se, por exemplo, que

no caso de Câmara de Lobos, o facto de se considerar um caudal de dimensionamento mais elevado, conduz imediatamente, a soluções hidráulicas mais robustas, com manutenção de velocidades de escoamento elevadas ao longo de todo o sistema.

Relativamente aos elementos de proteção estrutural, refere-se a existência de uma grande incerteza associada ao desconhecimento das corretas características da agitação marítima local, sobretudo no caso do emissário submarino de Porto da Cruz. Esse desconhecimento resulta em dificuldades na caracterização do escoamento em torno dos emissários submarinos e consequentemente incertezas na determinação dos coeficientes de resistência, inércia e sustentação corretos. Os coeficientes selecionados para os diversos casos de estudo resultam de opções conservativas de cálculo cujas implicações podem resultar em algum sobredimensionamento das estruturas. O dimensionamento das estruturas de proteção estrutural, nomeadamente os anéis de contrapeso de betão e a proteção de enrocamento na zona de rebentação, foram realizados com base em extrapolações das características da agitação marítima para um período de retorno de cerca de 100 anos. A base de dados sobre a qual foram realizadas as extrapolações não reúnem os requisitos recomendados para que se possam realizar estimativas para um período de retorno tão longo. No entanto, a postura conservativa face a todas as outras variáveis com influência no cálculo estrutural reserva uma margem de segurança significativa, podendo afirmar-se que, na globalidade, a estrutura deverá ser suficientemente resistente para resistir à tempestade de projeto com um período de retorno de 100 anos.

# 5
# CONSIDERAÇÕES FINAIS

## 5.1. CONCLUSÕES

O dimensionamento hidráulico-estrutural de um emissário submarino é fortemente influenciado pelas características locais da zona de implantação do emissário. A aplicação de uma metodologia generalizada de dimensionamento requer um elevado grau de conhecimento dessas características, sobretudo ao nível da agitação marítima.

Do ponto de vista da previsão do funcionamento ambiental de um emissário submarino, apesar da possibilidade de aplicação de alguns métodos expeditos para determinação das características de diluição e dispersão da pluma descarregada pelo emissário, uma caracterização mais cuidada do movimento da pluma e da eficiência ambiental do emissário apenas será possível por aplicação de modelos numéricos. No estudo de caso analisado, a aplicação de um modelo numérico para análise da eficiência ambiental das soluções propostas não acrescentaria uma maior precisão face às estimativas realizadas, baseadas na metodologia de Xiaodong, dado o elevado grau de desconhecimento das condições de agitação local. A intensidade da corrente marítima e do transporte de massa associado à agitação marítima desempenha um papel essencial nos fenómenos que influenciam a capacidade de diluição e dispersão associada a um emissário. Assim, desconhecendo-se essas características com rigor no local de implantação dos emissários analisados, a utilização de uma ferramenta de modelação numérica não acrescentaria precisão às soluções apresentadas. Note-se no entanto que, enquadrando-se o estudo realizado num cenário de estudo prévio, a utilização de tais métodos revela-se suficiente, permitindo uma comparação adequada entre o desempenho de diversas soluções, e ainda a realização de estimativas orçamentais.

A aplicação da fórmula de Morison para determinação das solicitações induzidas por ação da agitação marítima revela resultados bastante satisfatórios quando selecionados adequadamente os coeficientes de resistência e inércia. No entanto, a sua determinação é complexa face ao grande número de fatores de que esses coeficientes dependem. Assim, induzem um elevado nível de incerteza relativamente ao cálculo estrutural dos emissários submarinos. Tal incerteza reflete-se na necessidade de utilização de coeficientes de segurança elevados no processo de cálculo, que se traduz em soluções potencialmente sobredimensionadas. A caracterização rigorosa dos coeficientes de resistência, inércia e sustentação apenas é possível através de estudos experimentais em modelo físico que, mais uma vez, numa fase de estudo prévio, se revela desnecessária, já que, a utilização de valores de referência, como por exemplo, os valores experimentais de Sharpkaya, se revelam suficientes para comparação das diversas soluções e possibilidade de realização de estimativas orçamentais.

A utilização de emissários submarinos para descarga de efluentes residuais urbanos submetidos apenas a um pré-tratamento do tipo primário durante longos períodos de tempo é alvo de alguma controvérsia, sendo previsível que, no futuro, seja implementada regulamentação a nível europeu que impeça tal prática. Como tal, é expectável que no decorrer do período de vida útil dos emissários submarinos analisados no presente trabalho, as entidades gestoras das ETAR a si associadas se vejam obrigadas à implementação de fases de tratamento do tipo secundário. As soluções apresentadas foram formuladas com o objetivo de garantir a manutenção de boas condições de balneabilidade nas zonas costeiras afetadas pelas descargas realizadas pelos emissários analisados considerando uma carga poluente microbiológica associada apenas à realização de um tratamento do tipo primário. Sendo o tratamento primário um tratamento do tipo físico, e consequentemente com pouco impacto ao nível das concentrações de poluentes microbiológicos do efluente, foi adotada uma concentração de cálculo muito elevada associada ao esgoto bruto. Como tal, na eventualidade de se verificar a obrigatoriedade de realização de tratamento secundário as soluções apresentadas passarão a estar sobredimensionadas. O reduzido caudal associado aos casos de estudo analisados mitiga fortemente o efeito descrito uma vez que o comprimento definido para as diversas soluções é já relativamente reduzido.

# 6
# Bibliografia

Alvarez, C., Revilla, J.A., Medina, R., Juanes, J.A. (2002). *Proposal for Protection and Stabilization of Outfalls in High Wave Regime Seas. The Experience in Spain.* $2^{nd}$ International Conference on Marine Waste Water Discharges, Istanbul, Turquia, 16-20/Setembro/2002.

Bekendam, H. e Ottenheim, E. (sem data). *Montepellier Sea Outfall: Europe's Longest Marine PE Pipe Project.*https://www.iadc-dredging.com/ul/cms/terraetaqua/document/0/1/6/16/16/1/terra-et-aqua-nr101-02.pdf, Junho/2014.

Bleninger, T., Jirka, G.H. (2005). *User's Manual for CORHYD: An Internal Diffuser Hydraulics Model.* Institut für Hydromechanik, Universität Karlsruhe. Karlsuhe, Alemanha, Junho/2005.

Braskoro, S., Dronkers, T.D.T., Driel, M. van (2004). *From Shallow to Deep Implications for Offshore Pipeline Design.* Journal of the Indonesian Oil and Gas Community. Komunitas Migas Indonesia, 2004. ISSN 1829-9466.

Cascaes, M.E. (1991). *Emissários Submarinos. Metodologia para Fixação do Diâmetro, Definição do Difusor e Avaliação de Custos.* Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Chakrabarti, S.K. (1994). Wave Forces on Small Structures. In *Hydrodynamics of Offshore Structures.* Wessex Institute of Technology Press. ISBN: 0-905451-66-X.

Duer, M.J. (2000), *Use of Elastomeric "Duckbill" Valves for Long-Term Hydraulic and Dilution Efficiency of Marine Diffusers.* Marine Waste Water Discharges, Génova, Itália, 21/Novembro a 01/Dezembro 2000.

Eisenberg, Y., Brooks, P., Design and Construction of the Boston Outfall. In *Costal Engineering (1992).* 23rd International Conference on Coastal Engineering, Veneza, Itália. American Society of Civil Engineers, Nova Iorque, EUA, 1992. ISBN 978-0-87262-933-2.

Fredsøe, Jørgen e Sumer, B. Mutlu (1997). *Hydrodynamics Around Cylindrical Structures.* World Scientific, Singapura. ISBN 981-02-2898-8.

Freire, P.S. (2013). *Desempenho Hidráulico de Exutores Submarinos.* Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Grace, Robert A. (2009). *Marine Outfall Construction.* American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, EUA. ISBN 978-0-7844-0984-8.

Guthrie, David L. (1975). *A Computer Program for the Calculation of outfall lengths based upon dilution requirements.* Environmental Protection Agency, Junho/1975, Nova Iorque, EUA.

Hager, Willi H. e Schleiss, Anton J. (2009). Pertes de charges. In *Constructions Hydrauliques, Ecoulements stationnaires.* Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Suiça. ISBN 978-2-88074-746-6.

Haskell, Stephen P., Archer, Jon B., Lundt, P. E., (2011). *Design and Construction of a Deep Water Marine Outfall.* http://www.osmgp.gov.ar/symposium2011/Papers/81_Haskell.pdf. Abril 2014.

Instituto Hidrográfico, Divisão de Geologia Marinha (2003), *Dinâmica Sedimentar da Costa Sul da Ilha da Madeira.* Projeto GM4103/2003, REL.TF.GM.02/03, Junho 2003.

Lee, J.H.W., Karandikar, J., Horton, P.R. (1997). *Hydraulics of DuckBill Valve Jet Diffuser.* Combined Australasian Coastal Engineering and Ports Conference, Christchurch, Nova Zelândia, 1997.

Marques, T.S. (2005). *Portugal na Transição do Século – Retratos e dinâmicas territoriais.* Porto, Portugal.

Neves, M.G., Figueira, P., Afonso, M.C., Mendonça, A., Solis, M.V., Didier, E., Reis, M.T., Clavero, M., Ortega-Sánchez, M., Losada, M.A. (2013). *Estudo Experimental de Forças Sobre um Emissário Submarino: Influência da Direção da Agitação Incidente, da Presença de Anéis de Estabilização e da Distância da Conduta ao Fundo.* $8^a s$ Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária.

Neves, R., Campuzano, F., Neto, C., Sousa, N., Nunes, D. (2013). *Análise do Impacto da Rejeição de Efluentes Resultante do Tratamento de Águas Residuais Urbanas em Meio Hídrico na Ilha da Madeira. Relatório Julho/2008-Agosto/2013.* Instituto Superior Técnico – MARETEC. Dezembro/2013.

Pereira, G.S. (2008). *Projeto de um Quebramar Destacado de Proteção para a Frente Marítima de Espinho.* Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Pita, C., Rita, M., Figueira, P. (1985). *Estabilidade de Emissários Submarinos sob a Ação das Ondas e Correntes.* II Jornadas Técnicas da APRH. Outubro/1985.

Raichlen, F., Watanabe, A. (sem data). *Wave Induced Forces on a Submarine Outfall.* California Institute of Technology, California, EUA.

Reiff, F. M. (2002). *Small Diameter (HDPE) Submarine Outfalls.* Pan American Center For Sanitary Engineering and Environmental Sciences (CEPIS), Washington, D.C., EUA, 2002.

Revilla, J.A., Alvarez, C., Medina, R., Juanes, J.A., García, A (2002). *Environmental Design of Submarine Outfall According to the European Water Framework Directive.* $2^{nd}$ International Conference on Marine Waste Water Discharges, Istanbul, Turquia, 16-20/Setembro/2002.

Roberts, P.J.W., Daviero, G.J. (2004), *Marine Wastewater Discharges from Multiport Diffusers. III: Stratified Stationary Water.* Journal of Hydraulic Engineering, Volume 132, Número 4, 1/Abril/2006. American Society of Civil Engineers. ISSN: 0733-9429/2006/4-404-410.

Sá Marques, J. e Oliveira Sousa, J. (2011). *Hidráulica Urbana, Sistemas de Abastecimento de Água e de Drenagem de Águas Residuais.* Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal. ISBN 978-989-26-0124-3.

Salas, H.J. (1998), *Submarine Outfalls. General Overview, Basic Design Concepts and Data Requirements for Latin America and The Caribbean.* Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences (CEPIS), 2000.

Sem autor (1996). *Sea Outfalls – Inspection and Diver Safety.* Construction Industry Research and Information Association (CIRIA), Londres, Inglaterra. ISBN: 086017-441-1 / ISSN: 0305-408-X.

Sem Autor (2002). *Technical Catalogue for Submarine Installations of Polyethylene Pipes.* Pipeline Norge, Dezembro/2002.

Sem Autor (Sem data). Teoria Linear. In *Forças Atuantes nos Blocos do Manto Resistente de Quebra-Mares de Taludes.* Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). LNEC – Proc. 63/11/8497.

Sem Autor. *Tubos de Polietileno de Alta Densidade.* Catalogo técnico, Politejo. http://www.politejo.com/pdf/catalogos/Catalogo_Tecnico_Comercial_de_Tubos_PEAD1.pdf, Maio/2014.

Souza, J.F.A., Azevedo, J.L.L., Oliveira, L.R., Soares, I.D. (Sem Data), *Emissários Submarinos – Uma Alternativa para a Disposição final de Efluentes em Cidades Costeiras.* Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Brasil.

Veloso dos Reis, M.T., Neves, M.G., Pereira da Silva, L.G. (2004). *Emissários Submarinos em Portugal.* Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Volume 25, nº3, Novembro/2004.

Vidal, C., Lomonaco, P., Revilla, J.A., Martin, F.L., Medina, R. (2002). *Stability of Rubble Mound Protections for Submarine Outfalls: Prototype and Laboratory Experiments.* $2^{nd}$ International Conference on Marine Waste Water Discharges, Istanbul, Turquia, 16-20/Setembro/2002.

Wiegel, R.L. (1964). Theory of Periodic Waves. In *Oceanographical Engineering.* Dover Publications. Dezembro, 2005.

Xiaodong, T., Roberts, P.J.W., Daviero, G.J. (2004), *Marine Wastewater Discharges from Multiport Diffusers. I: Unstratified Stationary Water.* Journal of Hydraulic Engineering, Volume 130, Número 12, 1/Dezembro/2004. American Society of Civil Engineers. ISSN 0733-9429/2004/12-1137-1146.

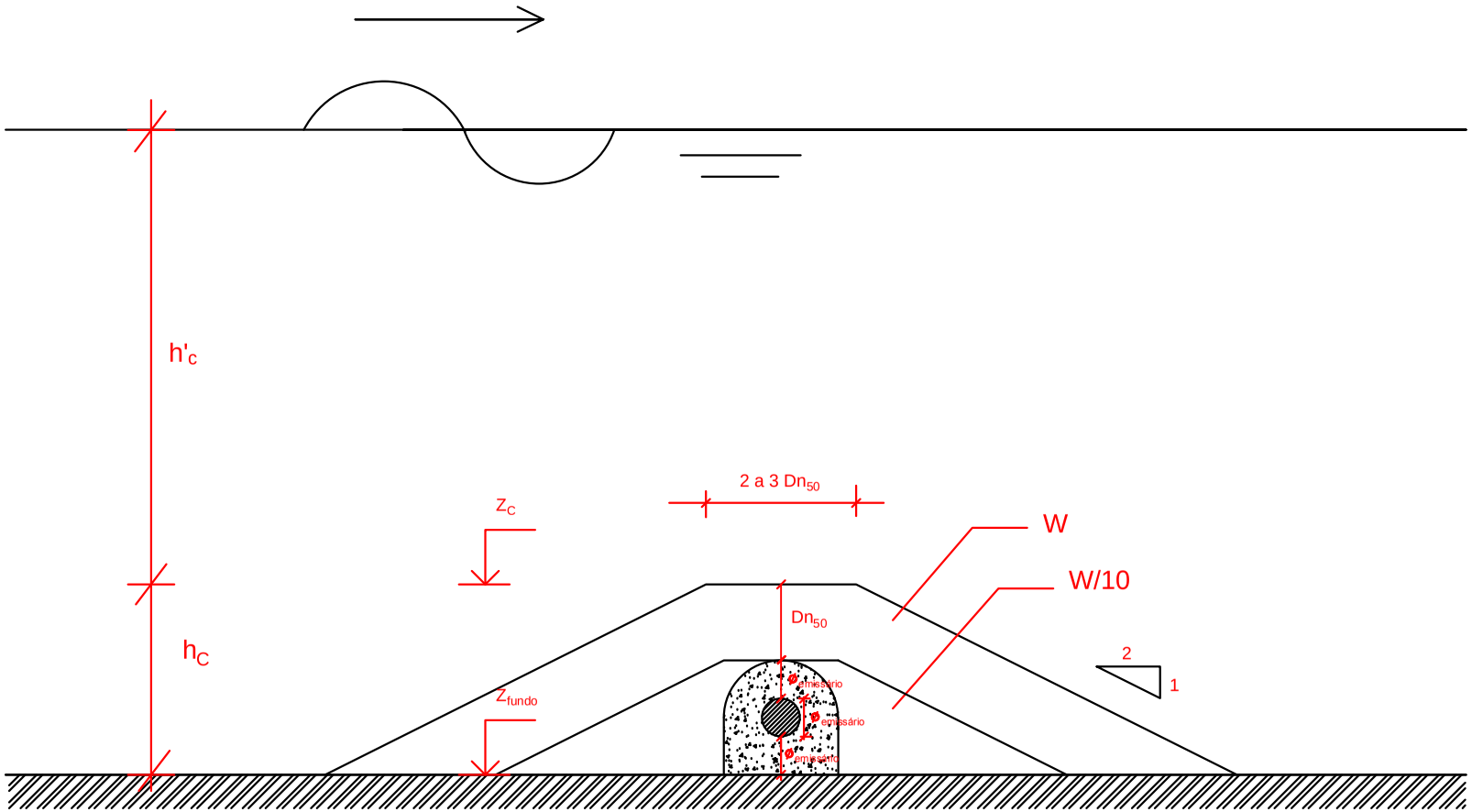
Xiaodong, T., Roberts, P.J.W., Daviero, G.J. (2004), *Marine Wastewater Discharges from Multiport Diffusers. II: Unstratified Flowing Water.* Journal of Hydraulic Engineering, Volume 130, Número 12, 1/Dezembro/2004. American Society of Civil Engineers. ISSN: 0733-9429/2004/12-1147-1155.

Xiaodong, T., Roberts, P.J.W., Daviero, G.J. (2004), *Marine Wastewater Discharges from Multiport Diffusers. IV: Stratified Flowing Water.* Journal of Hydraulic Engineering, Volume 132, Número 4, 1/Abril/2006. American Society of Civil Engineers. ISSN: 0733-9429/2006/4-411-419.

# Anexos

# A.1.

# Perfil Transversal Tipo da Proteção de Enrocamento




Perfil Transversal Tipo
Proteção de enrocamento de um emissário submarino - Zona de Rebentação

Escala - N/A

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

# A.2.
# Relatórios de Resultados

| | |
|---|---|
| ***Projeto:*** | **Emissário Submarino da Calheta - Solução A** |
| ***Instituição:*** | **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto** |
| ***Data:*** | **Maio/2014** |

U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Características do projeto**

**Caudal de Projeto** 0.06 [$m^3/s$]

**Dados Geométricos**

**Emissário**

*Material* Polietileno de alta densidade

*Diâmetro* 300 [mm]

*Troço Marítimo* 226.5 [m] *Troço Terrestre* 331.5 [m]

**Difusor**

*Profundidade Máxima* 10 [m]

*Comprimento* 20 [m]

*Número de risers* 4 [m]

**Dimensionamento Hidráulico**

**Emissário**

| | | | | Perdas de carga | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{exu}$ | $Q_{desc}$ | $U_{desc}$ | $L_{exu}$ | $\Delta H_{cont}$ | $\Delta H_{cc}$ | $\Delta H_{total\ exu}$ |
| [mm] | [L/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 300 | 60 | 0.849 | 558 | 2.61 | 0.02 | 2.63 |

**Cota Piezométrica - ETAR**

| | | |
|---|---|---|
| Cota piezométrica mínima na ETAR | 5.5 | [m] ao ZH! |
| *(se não for possível garantir a cota mencionada o sistema não pode funcionar graviticamente)* | | |

$D_{exu}$ *Diâmetro do exutor;*

$Q_{desc}$ *Caudal descarregado;*

$U_{desc}$ *Velocidade média de escoamento;*

$\Delta H_{cont}$ *Perda de carga contínua;*

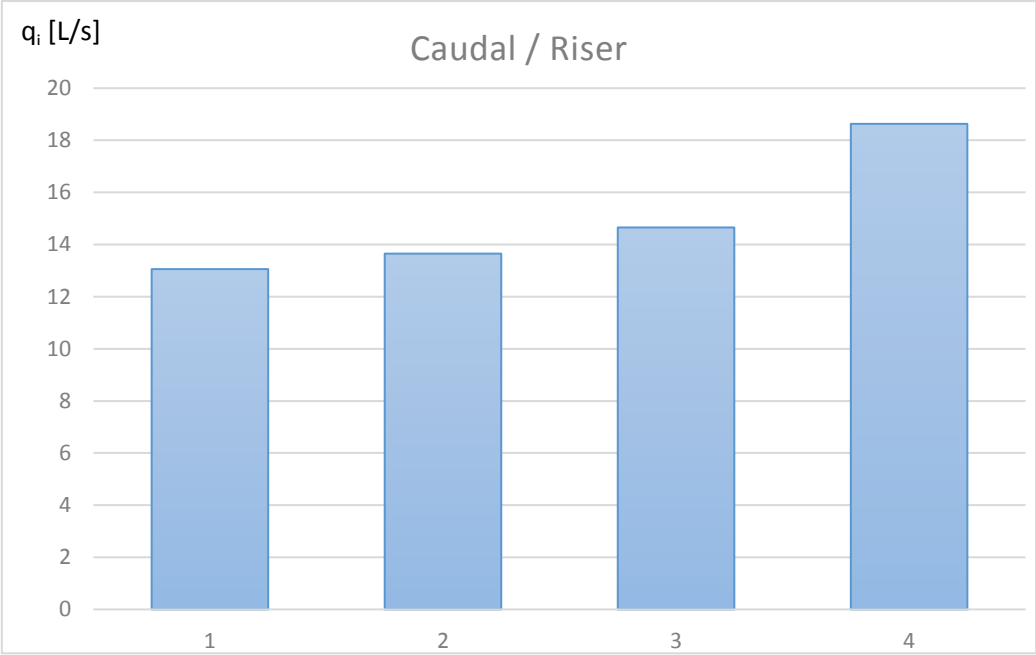
$\Delta H_{CC}$ *Perda de carga localizada à saida da câmara de carga*

$\Delta H_{total\ exu}$ *Perda de carga global no exutor*

**Comportamento Hidráulico**

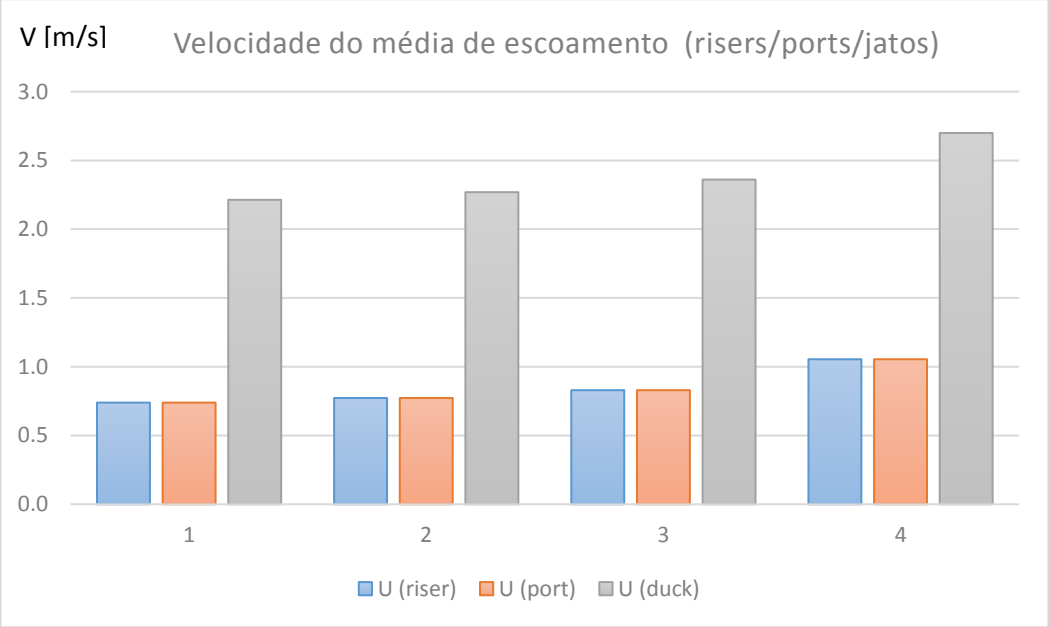
**Difusor**

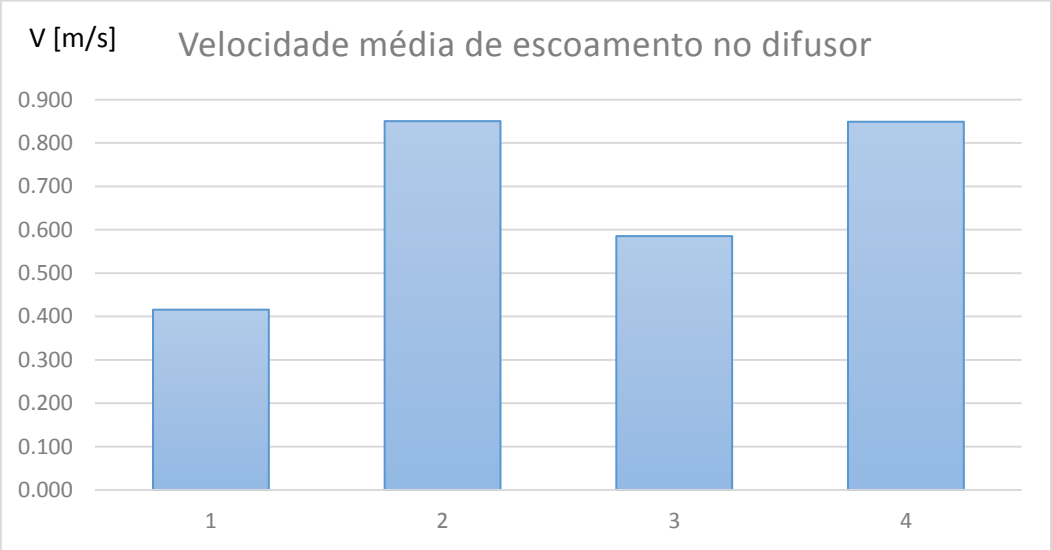
| Riser | q | P | $P/\gamma_{MAR}$ | $U_{dif}$ | $U_{riser}$ | $U_{port}$ | $U_{duck}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [L/s] | [kPa] | [m] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m/s] |
| 1 | 13.06 | 124.17 | 12.37 | 0.416 | 0.739 | 0.739 | 2.213 |
| 2 | 13.65 | 120.33 | 11.99 | 0.850 | 0.773 | 0.773 | 2.269 |
| 3 | 14.66 | 117.28 | 11.69 | 0.585 | 0.829 | 0.829 | 2.361 |
| 4 | 18.63 | 114.40 | 11.40 | 0.849 | 1.054 | 1.054 | 2.699 |
| $\sum$ | 60.00 | | | | | | |




| | |
|---|---|
| q | *Caudal descarregado em cada riser* |
| P | *Pressão relativa (eixo do difusor)* |
| $U_{dif}$ | *Velocidade média de escoamento - Difusor* |
| $U_{riser}$ | *Velocidade média de escoamento - Riser* |
| $U_{port}$ | *Velocidade média de escoamento - Porta* |
| $U_{duck}$ | *Velocidade média de escoamento - Válvula "Duckill"* |


p [kPa]
Pressão interna ao longo do difusor
126
124
122
120
118
116
114
112
110
108
1
2
3
4


V [m/s]
Velocidade do média de escoamento (risers/ports/jatos)
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
1
2
3
4
U (riser)
U (port)
U (duck)


V [m/s]
Velocidade média de escoamento no difusor
0.900
0.800
0.700
0.600
0.500
0.400
0.300
0.200
0.100
0.000
1
2
3
4

**Intrusão salina (durante a descarga)**

| Riser | qi | ui (jato) | Dp,i | Fr | Intrusão |
|---|---|---|---|---|---|
| | [l/s] | [m/s] | [m] | [-] | |
| 1 | 13.1 | 2.21 | 0.15 | 11.5 | Ok! |
| 2 | 13.7 | 2.27 | 0.15 | 11.8 | Ok! |
| 3 | 14.7 | 2.36 | 0.15 | 12.3 | Ok! |
| 4 | 18.6 | 2.70 | 0.15 | 14.1 | Ok! |

Não existem problemas de intrusão salina

**Eficiência Ambiental**

**Diluição / Dispersão / Die-off**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $D_i$ | 641.0301 | [-] | *Diluição inicial* |
| $D_h$ | 1.219939 | [-] | *Dispersão horizontal* |
| $D_b$ | 1.403071 | [-] | *Die-Off* |

| **Descarga** | | | | **Costa** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{totais}$ | 1.00E+07 | [un/100ml] | → | $C_{totais}$ | 9113.8896 | [un/100ml] |
| $C_{fecais}$ | 1.00E+06 | [un/100ml] | → | $C_{fecais}$ | 911.38896 | [un/100ml] |

**Dimensionamento Estrutural**

**Características da agitação marítima**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_R$ | 100 | [anos] | *Período de Retorno* |
| $H_{des}$ | 8.5 | [m] | *Altura de Onda de Projeto* |
| $T_{des}$ | 9 | [s] | *Período de Projeto* |
| $L_0$ | 126 | [m] | *Comprimento de Onda* |

| Zona de Rebentação | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Batimétrica | $(H/L_0)_{MÁX}$ | $H_{MÁXMiche}$ | 0.78*d | $H_{design}$ | Rebentação |
| [m] | [-] | [m] | [m] | [m] | |
| 1 | 0.0070 | 0.89 | 0.78 | 0.78 | Zona de Rebentação |
| 2 | 0.0140 | 1.78 | 1.56 | 1.56 | Zona de Rebentação |
| 3 | 0.0210 | 2.65 | 2.34 | 2.34 | Zona de Rebentação |
| 4 | 0.0278 | 3.52 | 3.12 | 3.12 | Zona de Rebentação |
| 5 | 0.0345 | 4.37 | 3.90 | 3.9 | Zona de Rebentação |
| 6 | 0.0411 | 5.19 | 4.68 | 4.68 | Zona de Rebentação |
| 7 | 0.0474 | 6.00 | 5.46 | 5.46 | Zona de Rebentação |
| 8 | 0.0536 | 6.77 | 6.24 | 6.24 | Zona de Rebentação |
| 9 | 0.0595 | 7.52 | 7.02 | 7.02 | Zona de Rebentação |
| 10 | 0.0652 | 8.24 | 7.80 | 7.8 | Zona de Rebentação |

Todo o emissário se localiza na Zona de Rebentação

## Comparação de Resultados

| Cenário | $\Sigma N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | |
|---|---|---|---|
| [-] | [-] | [$m^3$] | Descrição |
| 1 | 0.0 | 0 | *Todos os anéis diferentes* |
| 2 | 0.0 | 0 | *Todos os anéis iguais* |
| 3 | 0.0 | 0 | *Aneis iguais em intervalos de 100m* |
| 4 | 0.0 | 0 | *Apenas 2 tipos de anel* |

## Anéis de Afundamento - Zona de Rebetanção

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel | $V_{betão}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] | [$m^3$] |
| 0-1 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 1-2 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 2-3 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 3-4 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 4-5 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 5-6 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 6-7 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 7-8 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 8-9 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 9-10 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $\Sigma N_{anéis}$ | 45.3 | $V_{total\ betão}$ | 4.59 | [$m^3$] |

## Zona de Rebentação - Proteção de Enrocamento

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_{design}$ | 15 | [s] | *Período de Projeto* |
| S | 2 | [-] | *Nível de estragos admissível* |
| $\gamma_{material}$ | 29 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico dos Blocos* |
| $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $N_{PMAV}$ | 2.9 | [m] | *Nível de Água em Preia Mar* |
| tg $\theta$ | 0.5 | [-] | *Inclinação dos Taludes* |

Proteção de Enrocamento

| $Z_{fundo}$ | $N_{PMAV}$ | $Z_{coroamento}$ | $h_c$ | d | $H_{des}$ | $D_{n50}$ | $W_{van\ der\ Meer}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kN] | [kg] |
| 0 | 2.9 | 1.69 | 1.69 | 2.9 | 0.78 | 0.15 | 0.1 | 0.01 |
| -1 | 2.9 | 0.69 | 1.69 | 3.9 | 1.56 | 0.25 | 0.4 | 0.04 |
| -2 | 2.9 | -0.31 | 1.69 | 4.9 | 2.34 | 0.33 | 1.0 | 0.10 |
| -3 | 2.9 | -1.31 | 1.69 | 5.9 | 3.12 | 0.40 | 1.8 | 0.18 |
| -4 | 2.9 | -2.31 | 1.69 | 6.9 | 3.9 | 0.46 | 2.8 | 0.29 |
| -5 | 2.9 | -3.31 | 1.69 | 7.9 | 4.68 | 0.52 | 4.1 | 0.42 |
| -6 | 2.9 | -4.31 | 1.69 | 8.9 | 5.46 | 0.58 | 5.6 | 0.57 |
| -7 | 2.9 | -5.31 | 1.69 | 9.9 | 6.24 | 0.63 | 7.4 | 0.76 |
| -8 | 2.9 | -6.31 | 1.69 | 10.9 | 7.02 | 0.69 | 9.5 | 0.97 |
| -9 | 2.9 | -7.31 | 1.69 | 11.9 | 7.8 | 0.74 | 11.8 | 1.20 |
| -10 | 2.9 | -8.31 | 1.69 | 12.9 | 8.58 | 0.79 | 14.4 | 1.47 |

Escalonamento

Calheta - Proteção de Enrocamento

| ΔZ | ΣL | Trecho | $h_c$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 32.1 | 1 | 1.38 | 0.48 | 0.33 | 32.8 |
| 1-2 | 64.2 | 1 | 1.38 | 0.48 | 0.33 | 32.8 |
| 2-3 | 96.3 | 1 | 1.38 | 0.48 | 0.33 | 32.8 |
| 3-4 | 128.4 | 1 | 1.38 | 0.48 | 0.33 | 32.8 |
| 4-5 | 160.5 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 5-6 | 173.7 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 6-7 | 186.9 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 7-8 | 200.1 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 8-9 | 213.3 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 9-10 | 226.5 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |

| Varíaveis | | |
|---|---|---|
| $T_R$ | [anos] | *Tempo de retorno* |
| $H_{máx}$ | [m] | *Altura máxima de onda* |
| T | [s] | *Período de Onda* |
| L | [m] | *Comprimento de Onda* |
| $(H/L)_{máx}$ | [-] | *Declividade máxima de Miche* |
| $H_{design}$ | [m] | *Altura de Onda de Dimensionamento* |
| $C_D$ | [-] | *Coeficiente de Resistência* |
| $C_M$ | [-] | *Coeficiente de Inércia* |
| $C_L$ | [-] | *Coeficiente de Sustentação* |
| $\gamma_{mar}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $\gamma_{betão}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico do Betão* |
| $\gamma_{PEAD}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da conduta de PEAD* |
| $W_{u.c.}$ | [kg/m] | *Massa Unitária da conduta de PEAD* |
| e | [m] | *Espaçamento entre Anéis* |
| Ø' | [°] | *Ângulo de Atrito da Interface Anel de Betão - Fundo Marítimo* |
| F.S. | [-] | *Fator de Segurança* |
| $F_H$ | [N/m] | *Força Horizontal unitária* |
| $F_V$ | [N/m] | *Força Vertical Unitária* |
| $N_{anéis}$ | [-] | *Número de Anéis de Betão* |
| $W_{anel}$ | [kg] | *Massa de um Anel de Betão* |
| $Z_{fundo}$ | [m] | *Cota do Fundo* |
| $N_{PMAV}$ | [m] | *Nível de água em Preia-Mar* |
| $Z_{coroamento}$ | [m] | *Cota do Coroamento* |
| $h_c$ | [m] | *Altura da Proteção de Enrocamento* |
| d | [m] | *Profundidade* |
| $W_{núcleo}$ | [kg] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Núcleo* |
| $W_{M.R.}$ | [t] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Manto Resistente* |
| $D_{n50}$ | [m] | *Dimensão Média dos Blocos* |

| | |
|---|---|
| ***Projeto:*** | **Emissário Submarino da Calheta - Solução B** |
| ***Instituição:*** | **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto** |
| ***Data:*** | **Maio/2014** |

U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Características do projeto**

**Caudal de Projeto** 0.06 [$m^3/s$]

**Dados Geométricos**

**Emissário**

*Material* Polietileno de alta densidade

*Diâmetro* 300 [mm]

*Troço Marítimo* 320.5 [m] *Troço Terrestre* 331.5 [m]

**Difusor**

*Profundidade Máxima* 15 [m]

*Comprimento* 20 [m]

*Número de risers* 4 [m]

**Dimensionamento Hidráulico**

**Emissário**

| | | | | Perdas de carga | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{exu}$ | $Q_{desc}$ | $U_{desc}$ | $L_{exu}$ | $\Delta H_{cont}$ | $\Delta H_{cc}$ | $\Delta H_{total\ exu}$ |
| [mm] | [L/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 300 | 60 | 0.849 | 652 | 3.05 | 0.02 | 3.07 |

**Cota Piezométrica - ETAR**

| | | |
|---|---|---|
| Cota piezométrica na ETAR | 6.1 | [m] ao ZH! |
| *(se não for possível garantir a cota mencionada o sistema não pode funcionar graviticamente)* | | |

$D_{exu}$ *Diâmetro do exutor;*

$Q_{desc}$ *Caudal descarregado;*

$U_{desc}$ *Velocidade média de escoamento;*

$\Delta H_{cont}$ *Perda de carga contínua;*

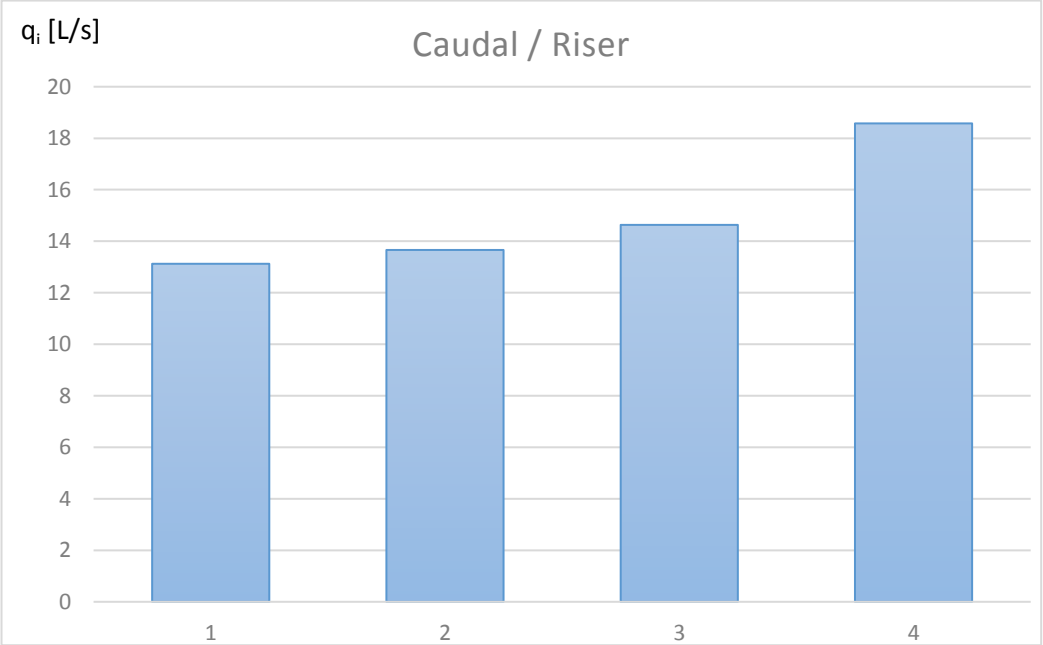
$\Delta H_{CC}$ *Perda de carga localizada à saida da câmara de carga*

$\Delta H_{total\ exu}$ *Perda de carga global no exutor*

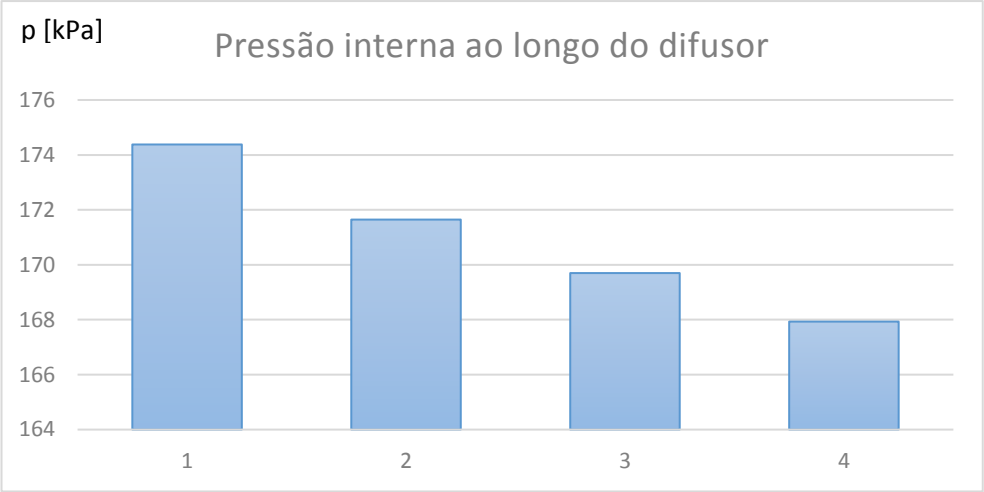
**Comportamento Hidráulico**

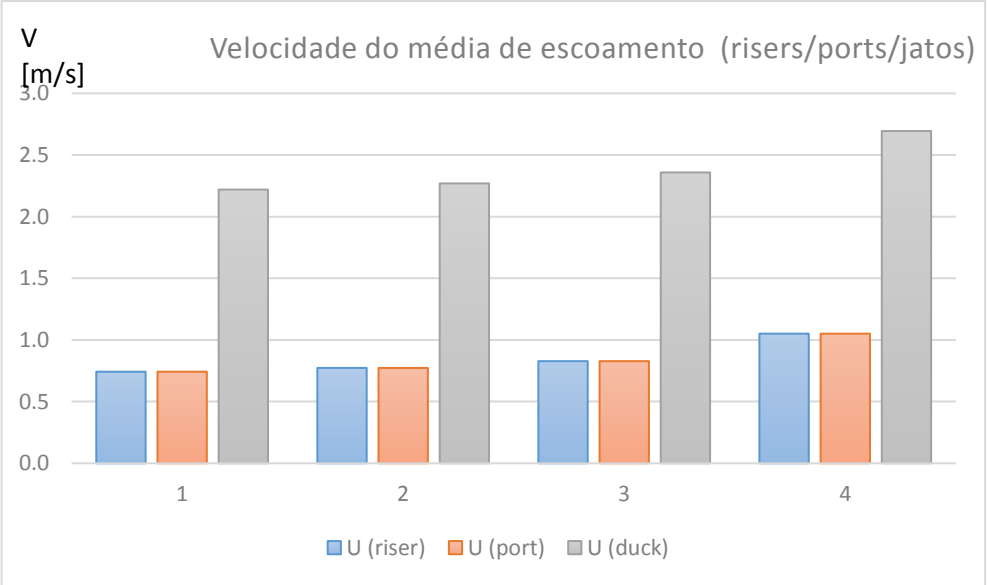
**Difusor**

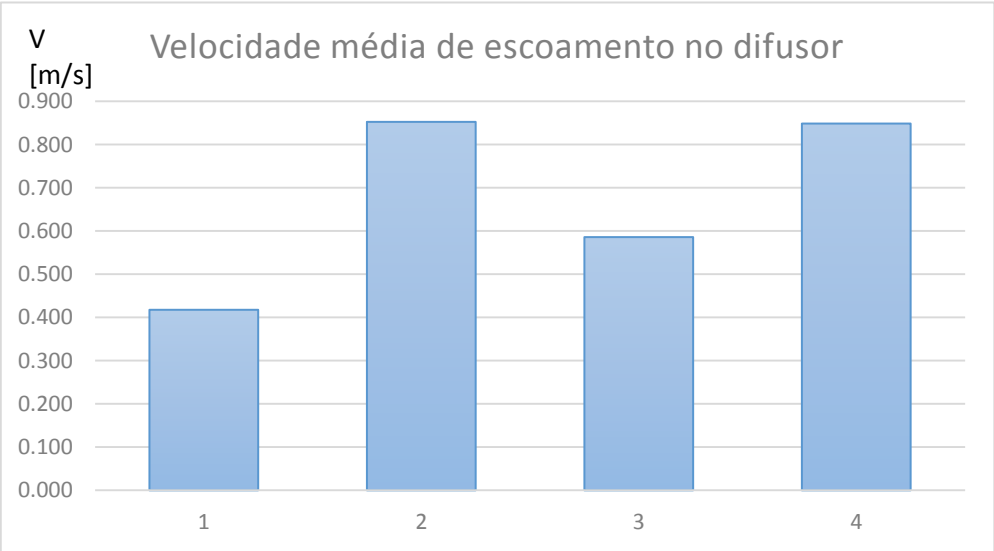
| Riser | q | P | $P/\gamma_{MAR}$ | $U_{dif}$ | $U_{riser}$ | $U_{port}$ | $U_{duck}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [L/s] | [kPa] | [m] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m/s] |
| 1 | 13.13 | 174.38 | 17.38 | 0.418 | 0.743 | 0.743 | 2.220 |
| 2 | 13.66 | 171.65 | 17.10 | 0.853 | 0.773 | 0.773 | 2.270 |
| 3 | 14.64 | 169.70 | 16.91 | 0.586 | 0.828 | 0.828 | 2.359 |
| 4 | 18.58 | 167.93 | 16.73 | 0.849 | 1.051 | 1.051 | 2.694 |
| $\sum$ | 60.00 | | | | | | |




| | |
|---|---|
| q | *Caudal descarregado em cada riser* |
| P | *Pressão relativa (eixo do difusor)* |
| $U_{dif}$ | *Velocidade média de escoamento - Difusor* |
| $U_{riser}$ | *Velocidade média de escoamento - Riser* |
| $U_{port}$ | *Velocidade média de escoamento - Porta* |
| $U_{duck}$ | *Velocidade média de escoamento - Válvula "Duckill"* |


p [kPa]
Pressão interna ao longo do difusor
176
174
172
170
168
166
164
1
2
3
4


V [m/s]
Velocidade do média de escoamento (risers/ports/jatos)
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
1
2
3
4
U (riser)
U (port)
U (duck)


V [m/s]
Velocidade média de escoamento no difusor
0.900
0.800
0.700
0.600
0.500
0.400
0.300
0.200
0.100
0.000
1
2
3
4

**Intrusão salina (durante a descarga)**

| Riser | qi | ui (jato) | Dp,i | Fr | Intrusão |
|---|---|---|---|---|---|
| | [l/s] | [m/s] | [m] | [-] | |
| 1 | 13.1 | 2.22 | 0.15 | 11.6 | Ok! |
| 2 | 13.7 | 2.27 | 0.15 | 11.8 | Ok! |
| 3 | 14.6 | 2.36 | 0.15 | 12.3 | Ok! |
| 4 | 18.6 | 2.69 | 0.15 | 14.0 | Ok! |

Não existem problemas de intrusão salina

**Eficiência Ambiental**

**Diluição / Dispersão / Die-off**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $D_i$ | 1027.123 | [-] | *Diluição inicial* |
| $D_h$ | 1.351363 | [-] | *Dispersão horizontal* |
| $D_b$ | 1.636935 | [-] | *Die-Off* |

| **Descarga** | | | | **Costa** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{totais}$ | 1.00E+07 | [un/100ml] | → | $C_{totais}$ | 4401.2333 | [un/100ml] |
| $C_{fecais}$ | 1.00E+06 | [un/100ml] | → | $C_{fecais}$ | 440.12333 | [un/100ml] |

**Dimensionamento Estrutural**

**Características da agitação marítima**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_R$ | 100 | [anos] | *Período de Retorno* |
| $H_{des}$ | 8.5 | [m] | *Altura de Onda de Projeto* |
| $T_{des}$ | 9 | [s] | *Período de Projeto* |
| $L_0$ | 126 | [m] | *Comprimento de Onda* |

| Zona de Rebentação | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Batimétrica | $(H/L_0)_{MÁX}$ | $H_{MÁXMiche}$ | 0.78*d | $H_{design}$ | Rebentação |
| [m] | [-] | [m] | [m] | [m] | |
| 1 | 0.0070 | 0.89 | 0.78 | 0.78 | Zona de Rebentação |
| 2 | 0.0140 | 1.78 | 1.56 | 1.56 | Zona de Rebentação |
| 3 | 0.0210 | 2.65 | 2.34 | 2.34 | Zona de Rebentação |
| 4 | 0.0278 | 3.52 | 3.12 | 3.12 | Zona de Rebentação |
| 5 | 0.0345 | 4.37 | 3.90 | 3.9 | Zona de Rebentação |
| 6 | 0.0411 | 5.19 | 4.68 | 4.68 | Zona de Rebentação |
| 7 | 0.0474 | 6.00 | 5.46 | 5.46 | Zona de Rebentação |
| 8 | 0.0536 | 6.77 | 6.24 | 6.24 | Zona de Rebentação |
| 9 | 0.0595 | 7.52 | 7.02 | 7.02 | Zona de Rebentação |
| 10 | 0.0652 | 8.24 | 7.80 | 7.8 | Zona de Rebentação |
| 11 | 0.0706 | 8.93 | 8.58 | 8.5 | Ok |
| 12 | 0.0758 | 9.58 | 9.36 | 8.5 | Ok |
| 13 | 0.0807 | 10.20 | 10.14 | 8.5 | Ok |
| 14 | 0.0853 | 10.79 | 10.92 | 8.5 | Ok |
| 15 | 0.0897 | 11.34 | 11.70 | 8.5 | Ok |

**Dimensionamento de anéis de betão**

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CD | 2 | | $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | | e | 5 | [m] |
| CM | 2 | | $\gamma_{betão}$ | 25 | [kN/m$^3$] | | Ø' | 30 | [$^o$] |
| CL | 1 | | $\gamma_{PEAD}$ | 8.829 | [kN/m$^3$] | | F.S. | 1.5 | [-] |
| | | | $W_{u.c.}$ | 0.140283 | [kg/m] | | kN/m | | |

**Cenário 1 - Solução optimizada, Todos os anéis diferentes**

| $\Delta$Z | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [m$^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5254 | 2.06 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 4999 | 1.96 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 4743 | 1.86 |

**Cenário 2 - Todos os anéis iguais**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 5505 | 2.16 |

**Cenário 3 - Blocos diferentes em intervalos de 100m**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 4999 | 1.96 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 4999 | 1.96 |

**Cenário 4 - Apenas 2 tipos de anéis**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5254 | 2.06 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5254 | 2.06 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 5254 | 2.06 |

## Comparação de Resultados

| Cenário | $\sum N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | |
|---|---|---|---|
| [-] | [-] | [$m^3$] | Descrição |
| 1 | 18.8 | 38 | *Todos os anéis diferentes* |
| 2 | 18.8 | 41 | *Todos os anéis iguais* |
| 3 | 18.8 | 39 | *Aneis iguais em intervalos de 100m* |
| 4 | 18.8 | 40 | *Apenas 2 tipos de anel* |

## Anéis de Afundamento - Zona de Rebetanção

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel | $V_{betão}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] | [$m^3$] |
| 0-1 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 1-2 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 2-3 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 3-4 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 4-5 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 5-6 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 6-7 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 7-8 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 8-9 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 9-10 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $\sum N_{anéis}$ | 45.3 | $V_{total\ betão}$ | 4.59 | [$m^3$] |

## Zona de Rebentação - Proteção de Enrocamento

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_{design}$ | 15 | [s] | *Período de Projeto* |
| S | 2 | [-] | *Nível de estragos admissível* |
| $\gamma_{material}$ | 29 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico dos Blocos* |
| $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $N_{PMAV}$ | 2.9 | [m] | *Nível de Água em Preia Mar* |
| tg $\theta$ | 0.5 | [-] | *Inclinação dos Taludes* |

Proteção de Enrocamento

| $Z_{fundo}$ | $N_{PMAV}$ | $Z_{coroamento}$ | $h_c$ | d | $H_{des}$ | $D_{n50}$ | $W_{van\ der\ Meer}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kN] | [kg] |
| 0 | 2.9 | 1.69 | 1.69 | 2.9 | 0.78 | 0.15 | 0.1 | 0.01 |
| -1 | 2.9 | 0.69 | 1.69 | 3.9 | 1.56 | 0.25 | 0.4 | 0.04 |
| -2 | 2.9 | -0.31 | 1.69 | 4.9 | 2.34 | 0.33 | 1.0 | 0.10 |
| -3 | 2.9 | -1.31 | 1.69 | 5.9 | 3.12 | 0.40 | 1.8 | 0.18 |
| -4 | 2.9 | -2.31 | 1.69 | 6.9 | 3.9 | 0.46 | 2.8 | 0.29 |
| -5 | 2.9 | -3.31 | 1.69 | 7.9 | 4.68 | 0.52 | 4.1 | 0.42 |
| -6 | 2.9 | -4.31 | 1.69 | 8.9 | 5.46 | 0.58 | 5.6 | 0.57 |
| -7 | 2.9 | -5.31 | 1.69 | 9.9 | 6.24 | 0.63 | 7.4 | 0.76 |
| -8 | 2.9 | -6.31 | 1.69 | 10.9 | 7.02 | 0.69 | 9.5 | 0.97 |
| -9 | 2.9 | -7.31 | 1.69 | 11.9 | 7.8 | 0.74 | 11.8 | 1.20 |
| -10 | 2.9 | -8.31 | 1.69 | 12.9 | 8.58 | 0.79 | 14.4 | 1.47 |

Escalonamento

Calheta - Proteção de Enrocamento

| ΔZ | ΣL | Trecho | $h_c$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 32.1 | 1 | 1.38 | 0.48 | 0.33 | 32.8 |
| 1-2 | 64.2 | 1 | 1.38 | 0.48 | 0.33 | 32.8 |
| 2-3 | 96.3 | 1 | 1.38 | 0.48 | 0.33 | 32.8 |
| 3-4 | 128.4 | 1 | 1.38 | 0.48 | 0.33 | 32.8 |
| 4-5 | 160.5 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 5-6 | 173.7 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 6-7 | 186.9 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 7-8 | 200.1 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 8-9 | 213.3 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 9-10 | 226.5 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |

| Varíaveis | | |
|---|---|---|
| $T_R$ | [anos] | *Tempo de retorno* |
| $H_{máx}$ | [m] | *Altura máxima de onda* |
| T | [s] | *Período de Onda* |
| L | [m] | *Comprimento de Onda* |
| $(H/L)_{máx}$ | [-] | *Declividade máxima de Miche* |
| $H_{design}$ | [m] | *Altura de Onda de Dimensionamento* |
| $C_D$ | [-] | *Coeficiente de Resistência* |
| $C_M$ | [-] | *Coeficiente de Inércia* |
| $C_L$ | [-] | *Coeficiente de Sustentação* |
| $\gamma_{mar}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $\gamma_{betão}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico do Betão* |
| $\gamma_{PEAD}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da conduta de PEAD* |
| $W_{u.c.}$ | [kg/m] | *Massa Unitária da conduta de PEAD* |
| e | [m] | *Espaçamento entre Anéis* |
| Ø' | [°] | *Ângulo de Atrito da Interface Anel de Betão - Fundo Marítimo* |
| F.S. | [-] | *Fator de Segurança* |
| $F_H$ | [N/m] | *Força Horizontal unitária* |
| $F_V$ | [N/m] | *Força Vertical Unitária* |
| $N_{anéis}$ | [-] | *Número de Anéis de Betão* |
| $W_{anel}$ | [kg] | *Massa de um Anel de Betão* |
| $Z_{fundo}$ | [m] | *Cota do Fundo* |
| $N_{PMAV}$ | [m] | *Nível de água em Preia-Mar* |
| $Z_{coroamento}$ | [m] | *Cota do Coroamento* |
| $h_c$ | [m] | *Altura da Proteção de Enrocamento* |
| d | [m] | *Profundidade* |
| $W_{núcleo}$ | [kg] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Núcleo* |
| $W_{M.R.}$ | [t] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Manto Resistente* |
| $D_{n50}$ | [m] | *Dimensão Média dos Blocos* |

| | |
|---|---|
| ***Projeto:*** | **Emissário Submarino da Calheta - Solução C** |
| ***Instituição:*** | **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto** |
| ***Data:*** | **Maio/2014** |

U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Características do projeto**

**Caudal de Projeto** 0.06 [$m^3/s$]

**Dados Geométricos**

**Emissário**

*Material* Polietileno de alta densidade

*Diâmetro* 300 [mm]

*Troço Marítimo* 320.5 [m] *Troço Terrestre* 331.5 [m]

**Difusor**

*Profundidade Máxima* 15 [m]

*Comprimento* 40 [m]

*Número de risers* 4 [m]

**Dimensionamento Hidráulico**

**Emissário**

| | | | | Perdas de carga | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{exu}$ | $Q_{desc}$ | $U_{desc}$ | $L_{exu}$ | $\Delta H_{cont}$ | $\Delta H_{cc}$ | $\Delta H_{total\ exu}$ |
| [mm] | [L/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 300 | 60 | 0.849 | 652 | 3.05 | 0.02 | 3.07 |

**Cota Piezométrica - ETAR**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Cota piezométrica mínima na ETAR | | 6.1 | [m] ao ZH! |
| *(se não for possível garantir a cota mencionada o sistema não pode funcionar graviticamente)* | | | |

$D_{exu}$ *Diâmetro do exutor;*

$Q_{desc}$ *Caudal descarregado;*

$U_{desc}$ *Velocidade média de escoamento;*

$\Delta H_{cont}$ *Perda de carga contínua;*

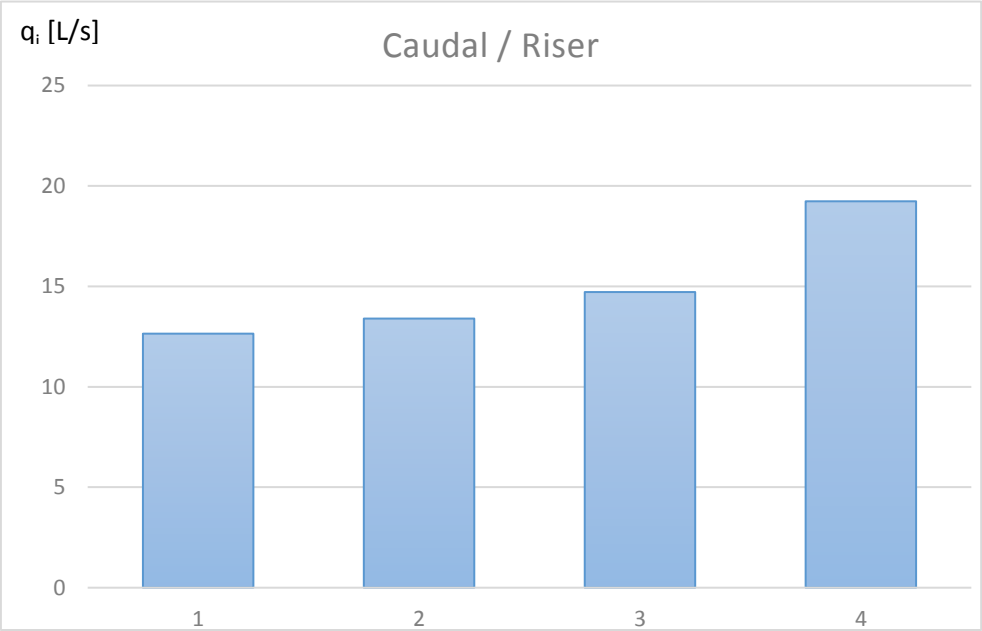
$\Delta H_{CC}$ *Perda de carga localizada à saida da câmara de carga*

$\Delta H_{total\ exu}$ *Perda de carga global no exutor*

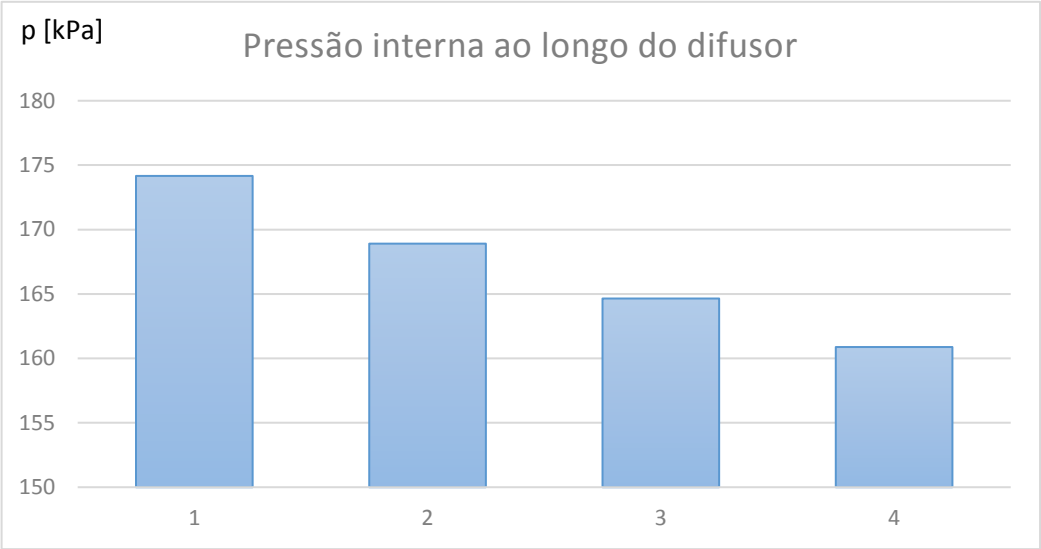
**Comportamento Hidráulico**

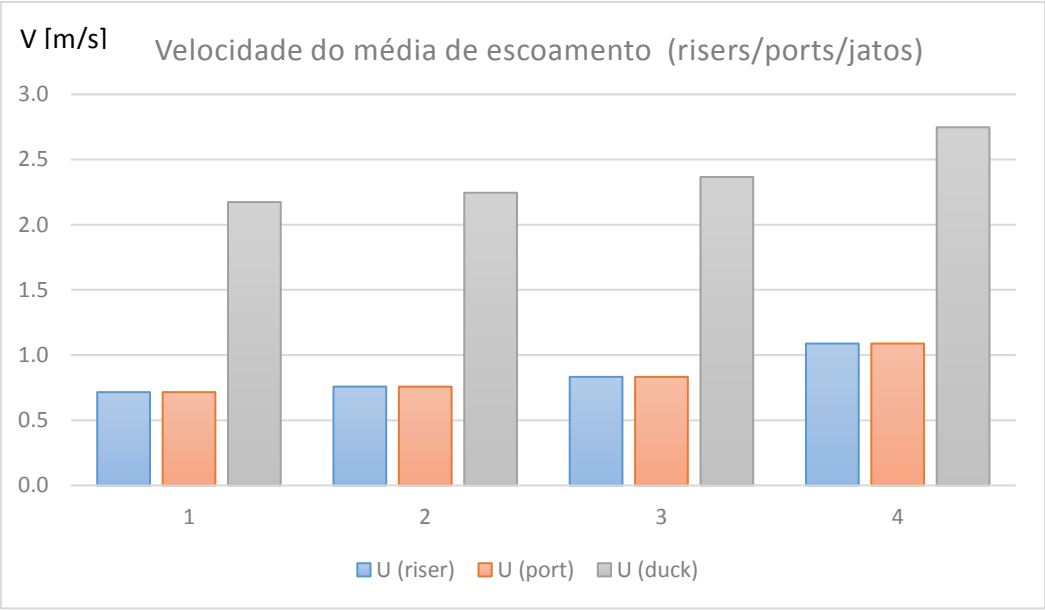
**Difusor**

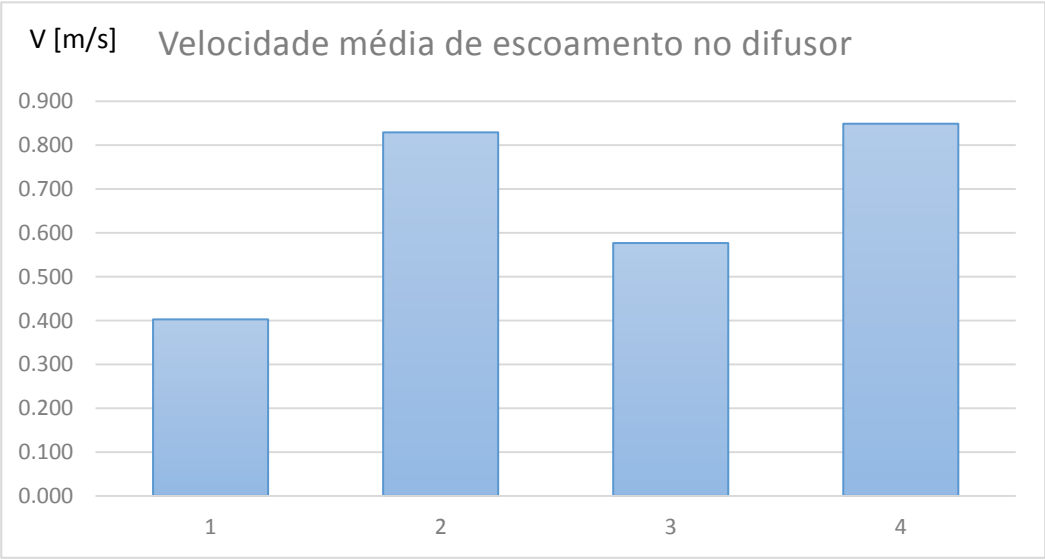
| Riser | q | P | $P/\gamma_{MAR}$ | $U_{dif}$ | $U_{riser}$ | $U_{port}$ | $U_{duck}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [L/s] | [kPa] | [m] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m/s] |
| 1 | 12.65 | 174.16 | 17.35 | 0.403 | 0.716 | 0.716 | 2.174 |
| 2 | 13.40 | 168.91 | 16.83 | 0.829 | 0.758 | 0.758 | 2.245 |
| 3 | 14.72 | 164.65 | 16.41 | 0.577 | 0.833 | 0.833 | 2.366 |
| 4 | 19.24 | 160.88 | 16.03 | 0.849 | 1.089 | 1.089 | 2.747 |
| $\sum$ | 60.00 | | | | | | |




| | |
|---|---|
| q | *Caudal descarregado em cada riser* |
| P | *Pressão relativa (eixo do difusor)* |
| $U_{dif}$ | *Velocidade média de escoamento - Difusor* |
| $U_{riser}$ | *Velocidade média de escoamento - Riser* |
| $U_{port}$ | *Velocidade média de escoamento - Porta* |
| $U_{duck}$ | *Velocidade média de escoamento - Válvula "Duckill"* |


p [kPa]
Pressão interna ao longo do difusor
180
175
170
165
160
155
150
1
2
3
4


V [m/s]
Velocidade do média de escoamento (risers/ports/jatos)
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
1
2
3
4
U (riser)
U (port)
U (duck)


V [m/s]
Velocidade média de escoamento no difusor
0.900
0.800
0.700
0.600
0.500
0.400
0.300
0.200
0.100
0.000
1
2
3
4

## Intrusão salina (durante a descarga)

| Riser | qi | ui (jato) | Dp,i | Fr | Intrusão |
|---|---|---|---|---|---|
| | [l/s] | [m/s] | [m] | [-] | |
| 1 | 12.6 | 2.17 | 0.15 | 11.3 | Ok! |
| 2 | 13.4 | 2.25 | 0.15 | 11.7 | Ok! |
| 3 | 14.7 | 2.37 | 0.15 | 12.3 | Ok! |
| 4 | 19.2 | 2.75 | 0.15 | 14.3 | Ok! |

Não existem problemas de intrusão salina

## Eficiência Ambiental

### Diluição / Dispersão / Die-off

| | | | |
|---|---|---|---|
| $D_i$ | 2442.788 | [-] | *Diluição inicial* |
| $D_h$ | 1.184633 | [-] | *Dispersão horizontal* |
| $D_b$ | 1.584114 | [-] | *Die-Off* |

| Descarga | | | | Costa | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{totais}$ | 1.00E+07 | [un/100ml] | → | $C_{totais}$ | 2181.4445 | [un/100ml] |
| $C_{fecais}$ | 1.00E+06 | [un/100ml] | → | $C_{fecais}$ | 218.14445 | [un/100ml] |

**Dimensionamento Estrutural**

**Características da agitação marítima**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_R$ | 100 | [anos] | *Período de Retorno* |
| $H_{des}$ | 8.5 | [m] | *Altura de Onda de Projeto* |
| $T_{des}$ | 9 | [s] | *Período de Projeto* |
| $L_0$ | 126 | [m] | *Comprimento de Onda* |

| Zona de Rebentação | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Batimétrica | $(H/L_0)_{MÁX}$ | $H_{MÁXMiche}$ | 0.78*d | $H_{design}$ | Rebentação |
| [m] | [-] | [m] | [m] | [m] | |
| 1 | 0.0070 | 0.89 | 0.78 | 0.78 | Zona de Rebentação |
| 2 | 0.0140 | 1.78 | 1.56 | 1.56 | Zona de Rebentação |
| 3 | 0.0210 | 2.65 | 2.34 | 2.34 | Zona de Rebentação |
| 4 | 0.0278 | 3.52 | 3.12 | 3.12 | Zona de Rebentação |
| 5 | 0.0345 | 4.37 | 3.90 | 3.9 | Zona de Rebentação |
| 6 | 0.0411 | 5.19 | 4.68 | 4.68 | Zona de Rebentação |
| 7 | 0.0474 | 6.00 | 5.46 | 5.46 | Zona de Rebentação |
| 8 | 0.0536 | 6.77 | 6.24 | 6.24 | Zona de Rebentação |
| 9 | 0.0595 | 7.52 | 7.02 | 7.02 | Zona de Rebentação |
| 10 | 0.0652 | 8.24 | 7.80 | 7.8 | Zona de Rebentação |
| 11 | 0.0706 | 8.93 | 8.58 | 8.5 | Ok |
| 12 | 0.0758 | 9.58 | 9.36 | 8.5 | Ok |
| 13 | 0.0807 | 10.20 | 10.14 | 8.5 | Ok |
| 14 | 0.0853 | 10.79 | 10.92 | 8.5 | Ok |
| 15 | 0.0897 | 11.34 | 11.70 | 8.5 | Ok |

**Dimensionamento de anéis de betão**

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CD | 2 | | $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | | e | 5 | [m] |
| CM | 2 | | $\gamma_{betão}$ | 25 | [kN/m$^3$] | | Ø' | 30 | [$^o$] |
| CL | 1 | | $\gamma_{PEAD}$ | 8.829 | [kN/m$^3$] | | F.S. | 1.5 | [-] |
| | | | $W_{u.c.}$ | 0.140283 | [kg/m] | | kN/m | | |

**Cenário 1 - Solução optimizada, Todos os anéis diferentes**

| $\Delta$Z | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [m$^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5254 | 2.06 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 4999 | 1.96 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 4743 | 1.86 |

**Cenário 2 - Todos os anéis iguais**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 5505 | 2.16 |

**Cenário 3 - Blocos diferentes em intervalos de 100m**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 4999 | 1.96 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 4999 | 1.96 |

**Cenário 4 - Apenas 2 tipos de anéis**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5254 | 2.06 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5254 | 2.06 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 5254 | 2.06 |

## Comparação de Resultados

| Cenário | $\sum N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | |
|---|---|---|---|
| [-] | [-] | [$m^3$] | Descrição |
| 1 | 18.8 | 38 | *Todos os anéis diferentes* |
| 2 | 18.8 | 41 | *Todos os anéis iguais* |
| 3 | 18.8 | 39 | *Aneis iguais em intervalos de 100m* |
| 4 | 18.8 | 40 | *Apenas 2 tipos de anel* |

## Anéis de Afundamento - Zona de Rebetanção

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel | $V_{betão}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] | [$m^3$] |
| 0-1 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 1-2 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 2-3 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 3-4 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 4-5 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 5-6 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 6-7 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 7-8 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 8-9 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 9-10 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $\sum N_{anéis}$ | 45.3 | $V_{total\ betão}$ | 4.59 | [$m^3$] |

**Zona de Rebentação - Proteção de Enrocamento**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_{design}$ | 15 | [s] | *Período de Projeto* |
| S | 2 | [-] | *Nível de estragos admissível* |
| $\gamma_{material}$ | 29 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico dos Blocos* |
| $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $N_{PMAV}$ | 2.9 | [m] | *Nível de Água em Preia Mar* |
| tg $\theta$ | 0.5 | [-] | *Inclinação dos Taludes* |

Proteção de Enrocamento

| $Z_{fundo}$ | $N_{PMAV}$ | $Z_{coroamento}$ | $h_c$ | d | $H_{des}$ | $D_{n50}$ | $W_{van\ der\ Meer}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kN] | [kg] |
| 0 | 2.9 | 1.69 | 1.69 | 2.9 | 0.78 | 0.15 | 0.1 | 0.01 |
| -1 | 2.9 | 0.69 | 1.69 | 3.9 | 1.56 | 0.25 | 0.4 | 0.04 |
| -2 | 2.9 | -0.31 | 1.69 | 4.9 | 2.34 | 0.33 | 1.0 | 0.10 |
| -3 | 2.9 | -1.31 | 1.69 | 5.9 | 3.12 | 0.40 | 1.8 | 0.18 |
| -4 | 2.9 | -2.31 | 1.69 | 6.9 | 3.9 | 0.46 | 2.8 | 0.29 |
| -5 | 2.9 | -3.31 | 1.69 | 7.9 | 4.68 | 0.52 | 4.1 | 0.42 |
| -6 | 2.9 | -4.31 | 1.69 | 8.9 | 5.46 | 0.58 | 5.6 | 0.57 |
| -7 | 2.9 | -5.31 | 1.69 | 9.9 | 6.24 | 0.63 | 7.4 | 0.76 |
| -8 | 2.9 | -6.31 | 1.69 | 10.9 | 7.02 | 0.69 | 9.5 | 0.97 |
| -9 | 2.9 | -7.31 | 1.69 | 11.9 | 7.8 | 0.74 | 11.8 | 1.20 |
| -10 | 2.9 | -8.31 | 1.69 | 12.9 | 8.58 | 0.79 | 14.4 | 1.47 |

Escalonamento

Calheta - Proteção de Enrocamento

| ΔZ | ΣL | Trecho | $h_c$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 32.1 | 1 | 1.38 | 0.48 | 0.33 | 32.8 |
| 1-2 | 64.2 | 1 | 1.38 | 0.48 | 0.33 | 32.8 |
| 2-3 | 96.3 | 1 | 1.38 | 0.48 | 0.33 | 32.8 |
| 3-4 | 128.4 | 1 | 1.38 | 0.48 | 0.33 | 32.8 |
| 4-5 | 160.5 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 5-6 | 173.7 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 6-7 | 186.9 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 7-8 | 200.1 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 8-9 | 213.3 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 9-10 | 226.5 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |

| Varíaveis | | |
|---|---|---|
| $T_R$ | [anos] | *Tempo de retorno* |
| $H_{máx}$ | [m] | *Altura máxima de onda* |
| T | [s] | *Período de Onda* |
| L | [m] | *Comprimento de Onda* |
| $(H/L)_{máx}$ | [-] | *Declividade máxima de Miche* |
| $H_{design}$ | [m] | *Altura de Onda de Dimensionamento* |
| $C_D$ | [-] | *Coeficiente de Resistência* |
| $C_M$ | [-] | *Coeficiente de Inércia* |
| $C_L$ | [-] | *Coeficiente de Sustentação* |
| $\gamma_{mar}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $\gamma_{betão}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico do Betão* |
| $\gamma_{PEAD}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da conduta de PEAD* |
| $W_{u.c.}$ | [kg/m] | *Massa Unitária da conduta de PEAD* |
| e | [m] | *Espaçamento entre Anéis* |
| Ø' | [°] | *Ângulo de Atrito da Interface Anel de Betão - Fundo Marítimo* |
| F.S. | [-] | *Fator de Segurança* |
| $F_H$ | [N/m] | *Força Horizontal unitária* |
| $F_V$ | [N/m] | *Força Vertical Unitária* |
| $N_{anéis}$ | [-] | *Número de Anéis de Betão* |
| $W_{anel}$ | [kg] | *Massa de um Anel de Betão* |
| $Z_{fundo}$ | [m] | *Cota do Fundo* |
| $N_{PMAV}$ | [m] | *Nível de água em Preia-Mar* |
| $Z_{coroamento}$ | [m] | *Cota do Coroamento* |
| $h_c$ | [m] | *Altura da Proteção de Enrocamento* |
| d | [m] | *Profundidade* |
| $W_{núcleo}$ | [kg] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Núcleo* |
| $W_{M.R.}$ | [t] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Manto Resistente* |
| $D_{n50}$ | [m] | *Dimensão Média dos Blocos* |

| | |
|---|---|
| ***Projeto:*** | **Emissário Submarino da Calheta - Solução E** |
| ***Instituição:*** | **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto** |
| ***Data:*** | **Maio/2014** |

U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Características do projeto**

**Caudal de Projeto** 0.06 [$m^3/s$]

**Dados Geométricos**

**Emissário**

*Material* Polietileno de alta densidade

*Diâmetro* 300 [mm]

*Troço Marítimo* 397.5 [m] *Troço Terrestre* 331.5 [m]

**Difusor**

*Profundidade Máxima* 20 [m]

*Comprimento* 20 [m]

*Número de risers* 4 [m]

**Dimensionamento Hidráulico**

**Emissário**

| | | | | Perdas de carga | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{exu}$ | $Q_{desc}$ | $U_{desc}$ | $L_{exu}$ | $\Delta H_{cont}$ | $\Delta H_{cc}$ | $\Delta H_{total\ exu}$ |
| [mm] | [L/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 300 | 60 | 0.849 | 729 | 3.41 | 0.02 | 3.43 |

**Cota Piezométrica - ETAR**

| | | |
|---|---|---|
| Cota piezométrica mínima na ETAR | 6.6 | [m] ao ZH! |
| *(se não for possível garantir a cota mencionada o sistema não pode funcionar graviticamente)* | | |

$D_{exu}$ *Diâmetro do exutor;*

$Q_{desc}$ *Caudal descarregado;*

$U_{desc}$ *Velocidade média de escoamento;*

$\Delta H_{cont}$ *Perda de carga contínua;*

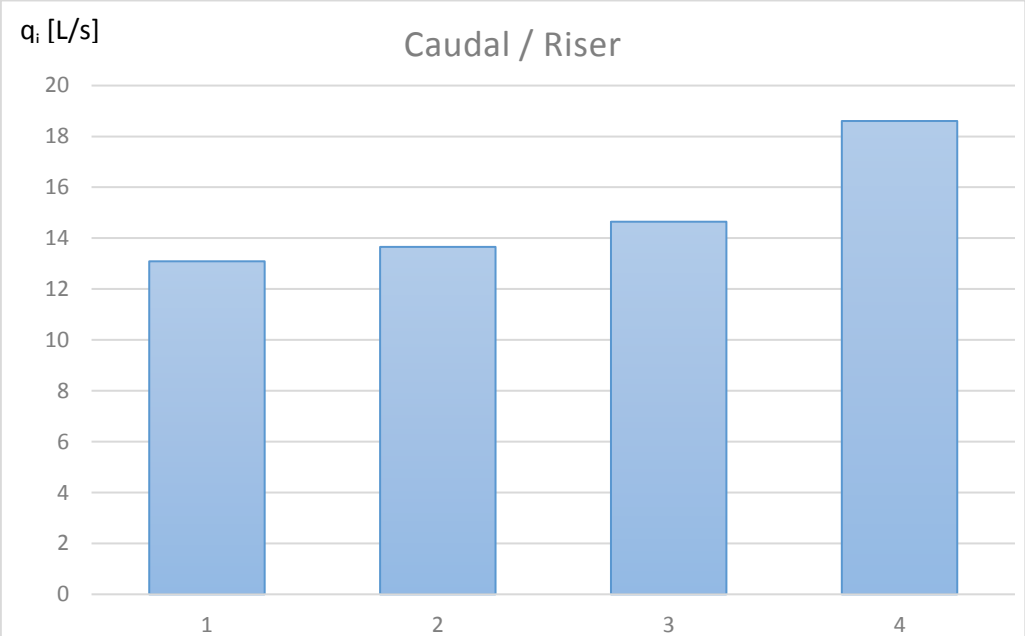
$\Delta H_{CC}$ *Perda de carga localizada à saida da câmara de carga*

$\Delta H_{total\ exu}$ *Perda de carga global no exutor*

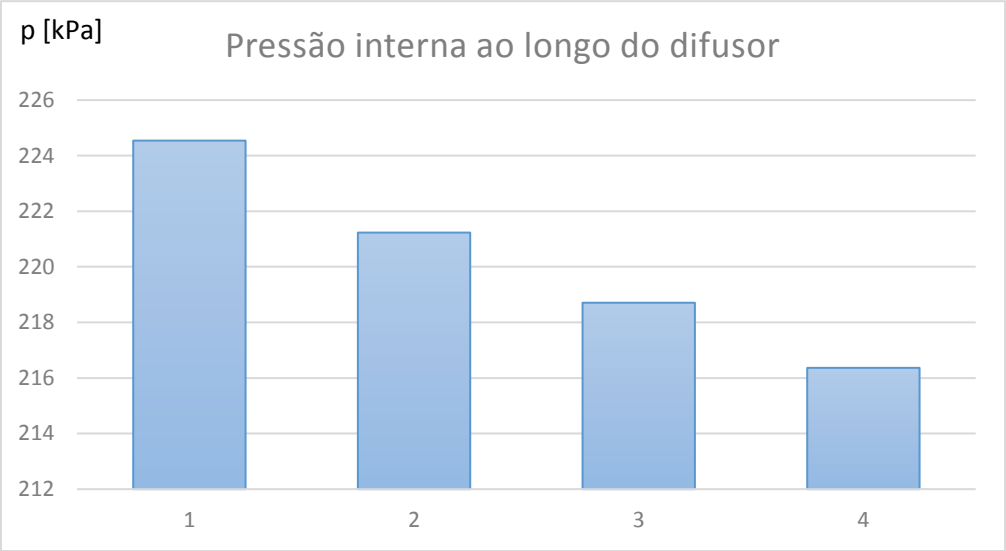
**Comportamento Hidráulico**

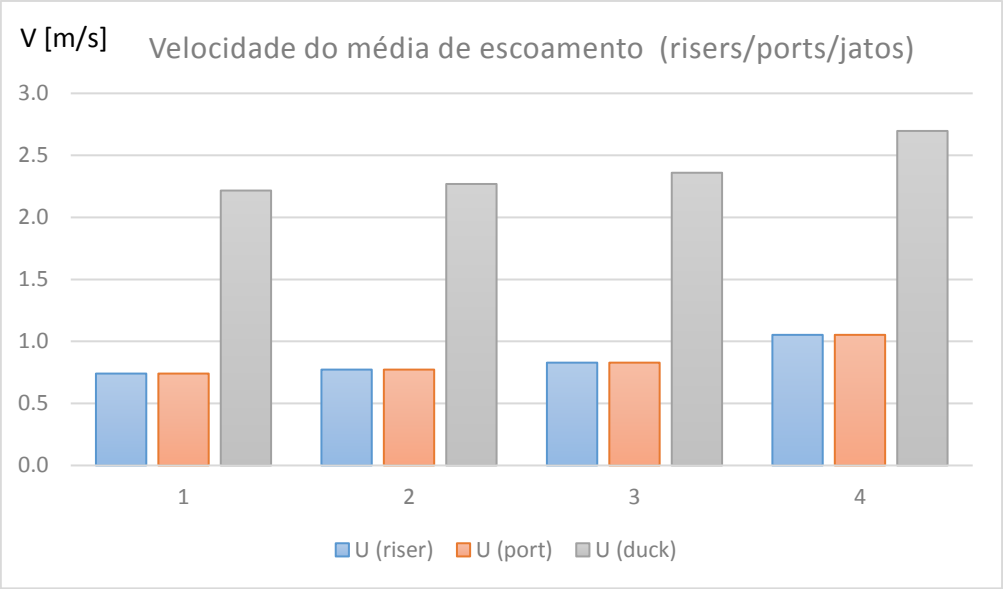
**Difusor**

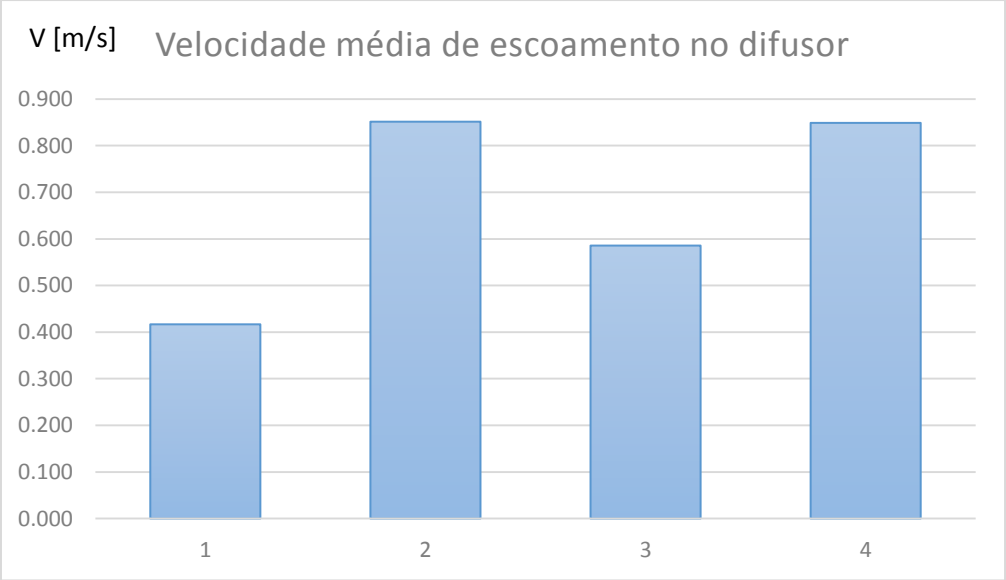
| Riser | q | P | $P/\gamma_{MAR}$ | $U_{dif}$ | $U_{riser}$ | $U_{port}$ | $U_{duck}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [L/s] | [kPa] | [m] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m/s] |
| 1 | 13.09 | 224.54 | 22.37 | 0.417 | 0.741 | 0.741 | 2.216 |
| 2 | 13.66 | 221.23 | 22.04 | 0.851 | 0.773 | 0.773 | 2.269 |
| 3 | 14.65 | 218.71 | 21.79 | 0.586 | 0.829 | 0.829 | 2.360 |
| 4 | 18.61 | 216.36 | 21.56 | 0.849 | 1.053 | 1.053 | 2.697 |
| $\sum$ | 60.00 | | | | | | |




| | |
|---|---|
| q | *Caudal descarregado em cada riser* |
| P | *Pressão relativa (eixo do difusor)* |
| $U_{dif}$ | *Velocidade média de escoamento - Difusor* |
| $U_{riser}$ | *Velocidade média de escoamento - Riser* |
| $U_{port}$ | *Velocidade média de escoamento - Porta* |
| $U_{duck}$ | *Velocidade média de escoamento - Válvula "Duckill"* |


p [kPa]
Pressão interna ao longo do difusor
226
224
222
220
218
216
214
212
1
2
3
4


V [m/s]
Velocidade do média de escoamento (risers/ports/jatos)
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
1
2
3
4
U (riser)
U (port)
U (duck)


V [m/s]
Velocidade média de escoamento no difusor
0.900
0.800
0.700
0.600
0.500
0.400
0.300
0.200
0.100
0.000
1
2
3
4

**Intrusão salina (durante a descarga)**

| Riser | qi | ui (jato) | Dp,i | Fr | Intrusão |
|---|---|---|---|---|---|
| | [l/s] | [m/s] | [m] | [-] | |
| 1 | 13.1 | 2.22 | 0.15 | 11.5 | Ok! |
| 2 | 13.7 | 2.27 | 0.15 | 11.8 | Ok! |
| 3 | 14.6 | 2.36 | 0.15 | 12.3 | Ok! |
| 4 | 18.6 | 2.70 | 0.15 | 14.0 | Ok! |

Não existem problemas de intrusão salina

**Eficiência Ambiental**

**Diluição / Dispersão / Die-off**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $D_i$ | 1375.99 | [-] | *Diluição inicial* |
| $D_h$ | 1.453105 | [-] | *Dispersão horizontal* |
| $D_b$ | 1.857268 | [-] | *Die-Off* |

| **Descarga** | | | | **Costa** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{totais}$ | 1.00E+07 | [un/100ml] | → | $C_{totais}$ | 2692.8572 | [un/100ml] |
| $C_{fecais}$ | 1.00E+06 | [un/100ml] | → | $C_{fecais}$ | 269.28572 | [un/100ml] |

**Dimensionamento Estrutural**

**Características da agitação marítima**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_R$ | 100 | [anos] | *Período de Retorno* |
| $H_{des}$ | 8.5 | [m] | *Altura de Onda de Projeto* |
| $T_{des}$ | 9 | [s] | *Período de Projeto* |
| $L_0$ | 126 | [m] | *Comprimento de Onda* |

| Zona de Rebentação | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Batimétrica | $(H/L_0)_{MÁX}$ | $H_{MÁXMiche}$ | 0.78*d | $H_{design}$ | Rebentação |
| [m] | [-] | [m] | [m] | [m] | |
| 1 | 0.0070 | 0.89 | 0.78 | 0.78 | Zona de Rebentação |
| 2 | 0.0140 | 1.78 | 1.56 | 1.56 | Zona de Rebentação |
| 3 | 0.0210 | 2.65 | 2.34 | 2.34 | Zona de Rebentação |
| 4 | 0.0278 | 3.52 | 3.12 | 3.12 | Zona de Rebentação |
| 5 | 0.0345 | 4.37 | 3.90 | 3.9 | Zona de Rebentação |
| 6 | 0.0411 | 5.19 | 4.68 | 4.68 | Zona de Rebentação |
| 7 | 0.0474 | 6.00 | 5.46 | 5.46 | Zona de Rebentação |
| 8 | 0.0536 | 6.77 | 6.24 | 6.24 | Zona de Rebentação |
| 9 | 0.0595 | 7.52 | 7.02 | 7.02 | Zona de Rebentação |
| 10 | 0.0652 | 8.24 | 7.80 | 7.8 | Zona de Rebentação |
| 11 | 0.0706 | 8.93 | 8.58 | 8.5 | Ok |
| 12 | 0.0758 | 9.58 | 9.36 | 8.5 | Ok |
| 13 | 0.0807 | 10.20 | 10.14 | 8.5 | Ok |
| 14 | 0.0853 | 10.79 | 10.92 | 8.5 | Ok |
| 15 | 0.0897 | 11.34 | 11.70 | 8.5 | Ok |
| 16 | 0.0938 | 11.86 | 12.48 | 8.5 | Ok |
| 17 | 0.0976 | 12.34 | 13.26 | 8.5 | Ok |
| 18 | 0.1012 | 12.80 | 14.04 | 8.5 | Ok |
| 19 | 0.1045 | 13.22 | 14.82 | 8.5 | Ok |
| 20 | 0.1076 | 13.61 | 15.60 | 8.5 | Ok |

| Dimensionamento de anéis de betão | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CD | 2 | | $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | | e | 5 | [m] |
| CM | 2 | | $\gamma_{betão}$ | 25 | [kN/m$^3$] | | Ø' | 30 | [$^o$] |
| CL | 1 | | $\gamma_{PEAD}$ | 8.829 | [kN/m$^3$] | | F.S. | 1.5 | [-] |
| | | | $W_{u.c.}$ | 0.140283 | [kg/m] | | kN/m | | |

**Cenário 1 - Solução optimizada, Todos os anéis diferentes**

| $\triangle$Z | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [m$^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5254 | 2.06 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 4999 | 1.96 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 4743 | 1.86 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 3 | 4488 | 1.76 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 3 | 4240 | 1.66 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 3 | 4002 | 1.57 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 3 | 3769 | 1.48 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 3 | 3545 | 1.39 |

**Cenário 2 - Todos os anéis iguais**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 3 | 5505 | 2.16 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 3 | 5505 | 2.16 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 3 | 5505 | 2.16 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 3 | 5505 | 2.16 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 3 | 5505 | 2.16 |

**Cenário 3 - Blocos diferentes em intervalos de 100m**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 4999 | 1.96 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 4999 | 1.96 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 3 | 4999 | 1.96 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 3 | 4999 | 1.96 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 3 | 4999 | 1.96 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 3 | 4999 | 1.96 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 3 | 4999 | 1.96 |

**Cenário 4 - Apenas 2 tipos de anéis**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 3 | 4488 | 1.76 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 3 | 4488 | 1.76 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 3 | 4488 | 1.76 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 3 | 4488 | 1.76 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 3 | 4488 | 1.76 |

## Comparação de Resultados

| Cenário | $\sum N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | |
|---|---|---|---|
| [-] | [-] | [$m^3$] | Descrição |
| 1 | 34.19936 | 63 | *Todos os anéis diferentes* |
| 2 | 34.19936 | 74 | *Todos os anéis iguais* |
| 3 | 34.19936 | 69 | *Aneis iguais em intervalos de 100m* |
| 4 | 34.19936 | 68 | *Apenas 2 tipos de anel* |

## Anéis de Afundamento - Zona de Rebetanção

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel | $V_{betão}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] | [$m^3$] |
| 0-1 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 1-2 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 2-3 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 3-4 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 4-5 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 5-6 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 6-7 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 7-8 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 8-9 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 9-10 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $\sum N_{anéis}$ | 45.3 | $V_{total\ betão}$ | 4.59 | [$m^3$] |

## Zona de Rebentação - Proteção de Enrocamento

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_{design}$ | 15 | [s] | *Período de Projeto* |
| S | 2 | [-] | *Nível de estragos admissível* |
| $\gamma_{material}$ | 29 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico dos Blocos* |
| $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $N_{PMAV}$ | 2.9 | [m] | *Nível de Água em Preia Mar* |
| tg $\theta$ | 0.5 | [-] | *Inclinação dos Taludes* |

Proteção de Enrocamento

| $Z_{fundo}$ | $N_{PMAV}$ | $Z_{coroamento}$ | $h_c$ | d | $H_{des}$ | $D_{n50}$ | $W_{van\ der\ Meer}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kN] | [kg] |
| 0 | 2.9 | 1.69 | 1.69 | 2.9 | 0.78 | 0.15 | 0.1 | 0.01 |
| -1 | 2.9 | 0.69 | 1.69 | 3.9 | 1.56 | 0.25 | 0.4 | 0.04 |
| -2 | 2.9 | -0.31 | 1.69 | 4.9 | 2.34 | 0.33 | 1.0 | 0.10 |
| -3 | 2.9 | -1.31 | 1.69 | 5.9 | 3.12 | 0.40 | 1.8 | 0.18 |
| -4 | 2.9 | -2.31 | 1.69 | 6.9 | 3.9 | 0.46 | 2.8 | 0.29 |
| -5 | 2.9 | -3.31 | 1.69 | 7.9 | 4.68 | 0.52 | 4.1 | 0.42 |
| -6 | 2.9 | -4.31 | 1.69 | 8.9 | 5.46 | 0.58 | 5.6 | 0.57 |
| -7 | 2.9 | -5.31 | 1.69 | 9.9 | 6.24 | 0.63 | 7.4 | 0.76 |
| -8 | 2.9 | -6.31 | 1.69 | 10.9 | 7.02 | 0.69 | 9.5 | 0.97 |
| -9 | 2.9 | -7.31 | 1.69 | 11.9 | 7.8 | 0.74 | 11.8 | 1.20 |
| -10 | 2.9 | -8.31 | 1.69 | 12.9 | 8.58 | 0.79 | 14.4 | 1.47 |

Escalonamento

Calheta - Proteção de Enrocamento

| $\Delta Z$ | $\Sigma L$ | Trecho | $h_c$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 32.1 | 1 | 1.38 | 0.48 | 0.33 | 32.8 |
| 1-2 | 64.2 | 1 | 1.38 | 0.48 | 0.33 | 32.8 |
| 2-3 | 96.3 | 1 | 1.38 | 0.48 | 0.33 | 32.8 |
| 3-4 | 128.4 | 1 | 1.38 | 0.48 | 0.33 | 32.8 |
| 4-5 | 160.5 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 5-6 | 173.7 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 6-7 | 186.9 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 7-8 | 200.1 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 8-9 | 213.3 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 9-10 | 226.5 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |

| Varíaveis | | |
|---|---|---|
| $T_R$ | [anos] | *Tempo de retorno* |
| $H_{máx}$ | [m] | *Altura máxima de onda* |
| T | [s] | *Período de Onda* |
| L | [m] | *Comprimento de Onda* |
| $(H/L)_{máx}$ | [-] | *Declividade máxima de Miche* |
| $H_{design}$ | [m] | *Altura de Onda de Dimensionamento* |
| $C_D$ | [-] | *Coeficiente de Resistência* |
| $C_M$ | [-] | *Coeficiente de Inércia* |
| $C_L$ | [-] | *Coeficiente de Sustentação* |
| $\gamma_{mar}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $\gamma_{betão}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico do Betão* |
| $\gamma_{PEAD}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da conduta de PEAD* |
| $W_{u.c.}$ | [kg/m] | *Massa Unitária da conduta de PEAD* |
| e | [m] | *Espaçamento entre Anéis* |
| Ø' | [°] | *Ângulo de Atrito da Interface Anel de Betão - Fundo Marítimo* |
| F.S. | [-] | *Fator de Segurança* |
| $F_H$ | [N/m] | *Força Horizontal unitária* |
| $F_V$ | [N/m] | *Força Vertical Unitária* |
| $N_{anéis}$ | [-] | *Número de Anéis de Betão* |
| $W_{anel}$ | [kg] | *Massa de um Anel de Betão* |
| $Z_{fundo}$ | [m] | *Cota do Fundo* |
| $N_{PMAV}$ | [m] | *Nível de água em Preia-Mar* |
| $Z_{coroamento}$ | [m] | *Cota do Coroamento* |
| $h_c$ | [m] | *Altura da Proteção de Enrocamento* |
| d | [m] | *Profundidade* |
| $W_{núcleo}$ | [kg] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Núcleo* |
| $W_{M.R.}$ | [t] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Manto Resistente* |
| $D_{n50}$ | [m] | *Dimensão Média dos Blocos* |

| | |
|---|---|
| ***Projeto:*** | **Emissário Submarino da Calheta - Solução F** |
| ***Instituição:*** | **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto** |
| ***Data:*** | **Maio/2014** |

U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Características do projeto**

**Caudal de Projeto** 0.06 [$m^3/s$]

**Dados Geométricos**

**Emissário**

*Material* Polietileno de alta densidade

*Diâmetro* 300 [mm]

*Troço Marítimo* 397.5 [m] *Troço Terrestre* 331.5 [m]

**Difusor**

*Profundidade Máxima* 20 [m]

*Comprimento* 40 [m]

*Número de risers* 4 [m]

**Dimensionamento Hidráulico**

**Emissário**

| | | | | Perdas de carga | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{exu}$ | $Q_{desc}$ | $U_{desc}$ | $L_{exu}$ | $\Delta H_{cont}$ | $\Delta H_{cc}$ | $\Delta H_{total\ exu}$ |
| [mm] | [L/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 300 | 60 | 0.849 | 729 | 3.41 | 0.02 | 3.43 |

**Cota piezométrica - ETAR**

| | | |
|---|---|---|
| Cota piezométrica mínima na ETAR | 6.6 | [m] ao ZH! |
| *(se não for possível garantir a cota mencionada o sistema não pode funcionar graviticamente)* | | |

$D_{exu}$ *Diâmetro do exutor;*

$Q_{desc}$ *Caudal descarregado;*

$U_{desc}$ *Velocidade média de escoamento;*

$\Delta H_{cont}$ *Perda de carga contínua;*

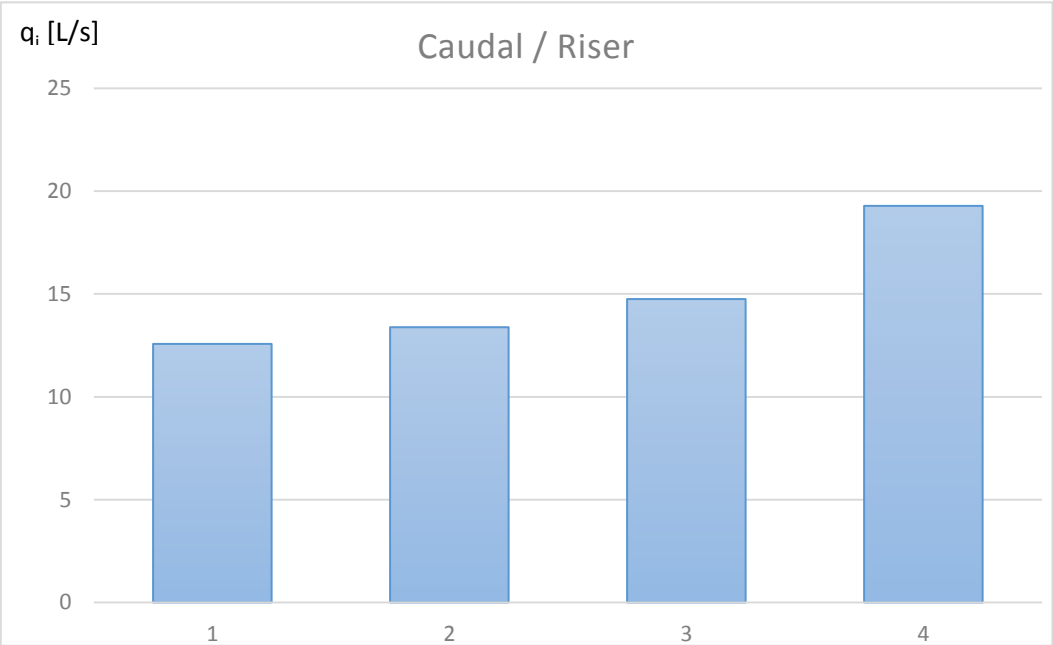
$\Delta H_{CC}$ *Perda de carga localizada à saida da câmara de carga*

$\Delta H_{total\ exu}$ *Perda de carga global no exutor*

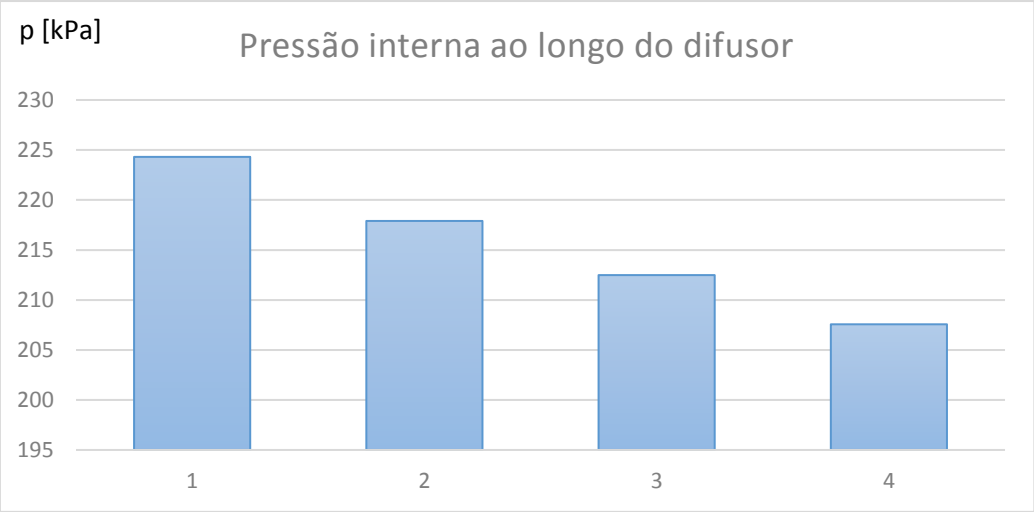
**Comportamento Hidráulico**

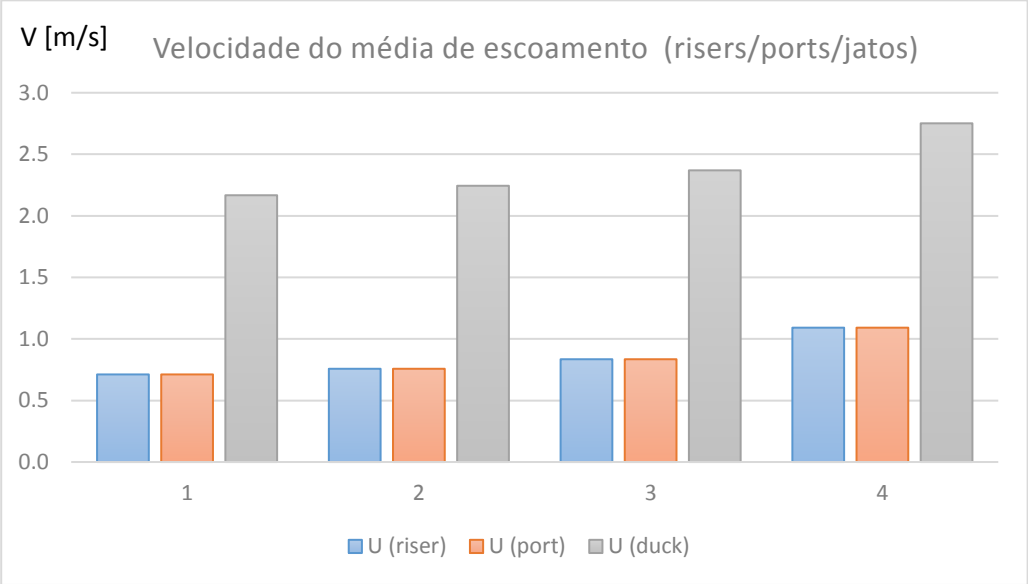
**Difusor**

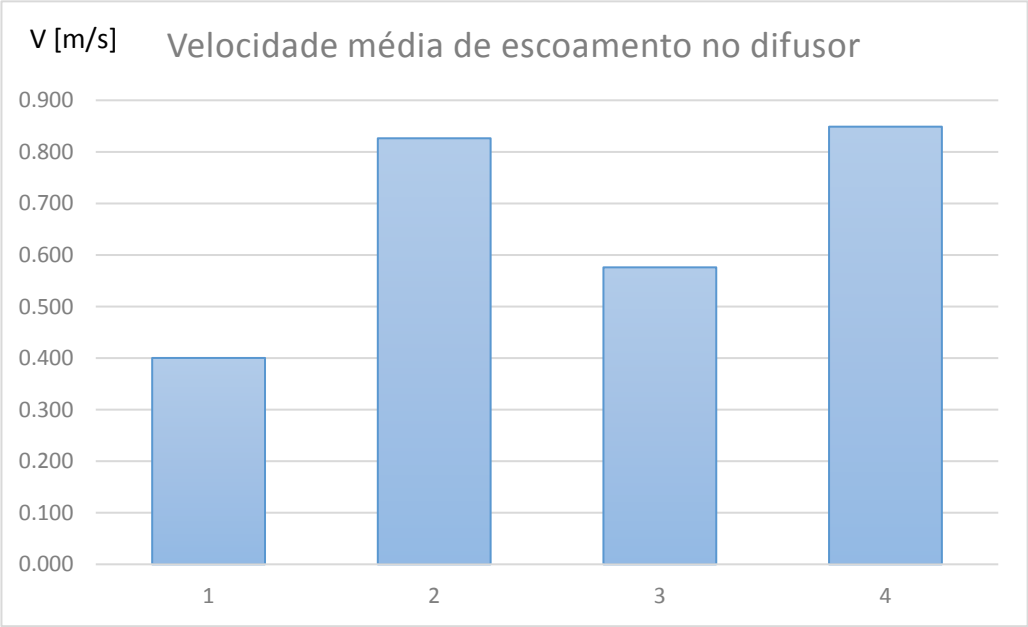
| Riser | q | P | $P/\gamma_{MAR}$ | $U_{dif}$ | $U_{riser}$ | $U_{port}$ | $U_{duck}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [L/s] | [kPa] | [m] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m/s] |
| 1 | 12.57 | 224.31 | 22.35 | 0.400 | 0.712 | 0.712 | 2.167 |
| 2 | 13.39 | 217.90 | 21.71 | 0.826 | 0.757 | 0.757 | 2.244 |
| 3 | 14.75 | 212.49 | 21.17 | 0.576 | 0.835 | 0.835 | 2.369 |
| 4 | 19.29 | 207.57 | 20.68 | 0.849 | 1.091 | 1.091 | 2.751 |
| $\sum$ | 60.00 | | | | | | |




| | |
|---|---|
| q | *Caudal descarregado em cada riser* |
| P | *Pressão relativa (eixo do difusor)* |
| $U_{dif}$ | *Velocidade média de escoamento - Difusor* |
| $U_{riser}$ | *Velocidade média de escoamento - Riser* |
| $U_{port}$ | *Velocidade média de escoamento - Porta* |
| $U_{duck}$ | *Velocidade média de escoamento - Válvula "Duckill"* |


p [kPa]
Pressão interna ao longo do difusor
230
225
220
215
210
205
200
195
1
2
3
4


V [m/s]
Velocidade do média de escoamento (risers/ports/jatos)
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
1
2
3
4
U (riser)
U (port)
U (duck)


V [m/s]
Velocidade média de escoamento no difusor
0.900
0.800
0.700
0.600
0.500
0.400
0.300
0.200
0.100
0.000
1
2
3
4

**Intrusão salina (durante a descarga)**

| Riser | qi | ui (jato) | Dp,i | Fr | Intrusão |
|---|---|---|---|---|---|
| | [l/s] | [m/s] | [m] | [-] | |
| 1 | 12.6 | 2.17 | 0.15 | 11.3 | Ok! |
| 2 | 13.4 | 2.24 | 0.15 | 11.7 | Ok! |
| 3 | 14.8 | 2.37 | 0.15 | 12.3 | Ok! |
| 4 | 19.3 | 2.75 | 0.15 | 14.3 | Ok! |

Não existem problemas de intrusão salina

**Eficiência Ambiental**

**Diluição / Dispersão / Die-off**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $D_i$ | 3289.771 | [-] | *Diluição inicial* |
| $D_h$ | 1.254007 | [-] | *Dispersão horizontal* |
| $D_b$ | 1.797337 | [-] | *Die-Off* |

| **Descarga** | | | | **Costa** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{totais}$ | 1.00E+07 | [un/dia] | → | $C_{totais}$ | 1348.6667 | [un/dia] |
| $C_{fecais}$ | 1.00E+06 | [un/dia] | → | $C_{fecais}$ | 134.86667 | [un/dia] |

**Dimensionamento Estrutural**

**Características da agitação marítima**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_R$ | 100 | [anos] | *Período de Retorno* |
| $H_{des}$ | 8.5 | [m] | *Altura de Onda de Projeto* |
| $T_{des}$ | 9 | [s] | *Período de Projeto* |
| $L_0$ | 126 | [m] | *Comprimento de Onda* |

| Zona de Rebentação | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Batimétrica | $(H/L_0)_{MÁX}$ | $H_{MÁXMiche}$ | 0.78*d | $H_{design}$ | Rebentação |
| [m] | [-] | [m] | [m] | [m] | |
| 1 | 0.0070 | 0.89 | 0.78 | 0.78 | Zona de Rebentação |
| 2 | 0.0140 | 1.78 | 1.56 | 1.56 | Zona de Rebentação |
| 3 | 0.0210 | 2.65 | 2.34 | 2.34 | Zona de Rebentação |
| 4 | 0.0278 | 3.52 | 3.12 | 3.12 | Zona de Rebentação |
| 5 | 0.0345 | 4.37 | 3.90 | 3.9 | Zona de Rebentação |
| 6 | 0.0411 | 5.19 | 4.68 | 4.68 | Zona de Rebentação |
| 7 | 0.0474 | 6.00 | 5.46 | 5.46 | Zona de Rebentação |
| 8 | 0.0536 | 6.77 | 6.24 | 6.24 | Zona de Rebentação |
| 9 | 0.0595 | 7.52 | 7.02 | 7.02 | Zona de Rebentação |
| 10 | 0.0652 | 8.24 | 7.80 | 7.8 | Zona de Rebentação |
| 11 | 0.0706 | 8.93 | 8.58 | 8.5 | Ok |
| 12 | 0.0758 | 9.58 | 9.36 | 8.5 | Ok |
| 13 | 0.0807 | 10.20 | 10.14 | 8.5 | Ok |
| 14 | 0.0853 | 10.79 | 10.92 | 8.5 | Ok |
| 15 | 0.0897 | 11.34 | 11.70 | 8.5 | Ok |
| 16 | 0.0938 | 11.86 | 12.48 | 8.5 | Ok |
| 17 | 0.0976 | 12.34 | 13.26 | 8.5 | Ok |
| 18 | 0.1012 | 12.80 | 14.04 | 8.5 | Ok |
| 19 | 0.1045 | 13.22 | 14.82 | 8.5 | Ok |
| 20 | 0.1076 | 13.61 | 15.60 | 8.5 | Ok |

| Dimensionamento de anéis de betão | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CD | 2 | | $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | | e | 5 | [m] |
| CM | 2 | | $\gamma_{betão}$ | 25 | [kN/m$^3$] | | Ø' | 30 | [$^o$] |
| CL | 1 | | $\gamma_{PEAD}$ | 8.829 | [kN/m$^3$] | | F.S. | 1.5 | [-] |
| | | | $W_{u.c.}$ | 0.140283 | [kg/m] | | kN/m | | |

**Cenário 1 - Solução optimizada, Todos os anéis diferentes**

| $\triangle$Z | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [m$^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5254 | 2.06 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 4999 | 1.96 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 4743 | 1.86 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 3 | 4488 | 1.76 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 3 | 4240 | 1.66 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 3 | 4002 | 1.57 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 3 | 3769 | 1.48 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 3 | 3545 | 1.39 |

**Cenário 2 - Todos os anéis iguais**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 3 | 5505 | 2.16 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 3 | 5505 | 2.16 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 3 | 5505 | 2.16 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 3 | 5505 | 2.16 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 3 | 5505 | 2.16 |

**Cenário 3 - Blocos diferentes em intervalos de 100m**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 4999 | 1.96 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 4999 | 1.96 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 3 | 4999 | 1.96 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 3 | 4999 | 1.96 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 3 | 4999 | 1.96 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 3 | 4999 | 1.96 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 3 | 4999 | 1.96 |

**Cenário 4 - Apenas 2 tipos de anéis**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 3 | 4488 | 1.76 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 3 | 4488 | 1.76 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 3 | 4488 | 1.76 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 3 | 4488 | 1.76 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 3 | 4488 | 1.76 |

## Comparação de Resultados

| Cenário | $\sum N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | |
|---|---|---|---|
| [-] | [-] | [$m^3$] | Descrição |
| 1 | 34.19936 | 63 | *Todos os anéis diferentes* |
| 2 | 34.19936 | 74 | *Todos os anéis iguais* |
| 3 | 34.19936 | 69 | *Aneis iguais em intervalos de 100m* |
| 4 | 34.19936 | 68 | *Apenas 2 tipos de anel* |

## Anéis de Afundamento - Zona de Rebetanção

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel | $V_{betão}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] | [$m^3$] |
| 0-1 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 1-2 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 2-3 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 3-4 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 4-5 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 5-6 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 6-7 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 7-8 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 8-9 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 9-10 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $\sum N_{anéis}$ | 45.3 | $V_{total\ betão}$ | 4.59 | [$m^3$] |

## Zona de Rebentação - Proteção de Enrocamento

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_{design}$ | 15 | [s] | *Período de Projeto* |
| S | 2 | [-] | *Nível de estragos admissível* |
| $\gamma_{material}$ | 29 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico dos Blocos* |
| $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $N_{PMAV}$ | 2.9 | [m] | *Nível de Água em Preia Mar* |
| tg $\theta$ | 0.5 | [-] | *Inclinação dos Taludes* |

Proteção de Enrocamento

| $Z_{fundo}$ | $N_{PMAV}$ | $Z_{coroamento}$ | $h_c$ | d | $H_{des}$ | $D_{n50}$ | $W_{van\ der\ Meer}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kN] | [kg] |
| 0 | 2.9 | 1.69 | 1.69 | 2.9 | 0.78 | 0.15 | 0.1 | 0.01 |
| -1 | 2.9 | 0.69 | 1.69 | 3.9 | 1.56 | 0.25 | 0.4 | 0.04 |
| -2 | 2.9 | -0.31 | 1.69 | 4.9 | 2.34 | 0.33 | 1.0 | 0.10 |
| -3 | 2.9 | -1.31 | 1.69 | 5.9 | 3.12 | 0.40 | 1.8 | 0.18 |
| -4 | 2.9 | -2.31 | 1.69 | 6.9 | 3.9 | 0.46 | 2.8 | 0.29 |
| -5 | 2.9 | -3.31 | 1.69 | 7.9 | 4.68 | 0.52 | 4.1 | 0.42 |
| -6 | 2.9 | -4.31 | 1.69 | 8.9 | 5.46 | 0.58 | 5.6 | 0.57 |
| -7 | 2.9 | -5.31 | 1.69 | 9.9 | 6.24 | 0.63 | 7.4 | 0.76 |
| -8 | 2.9 | -6.31 | 1.69 | 10.9 | 7.02 | 0.69 | 9.5 | 0.97 |
| -9 | 2.9 | -7.31 | 1.69 | 11.9 | 7.8 | 0.74 | 11.8 | 1.20 |
| -10 | 2.9 | -8.31 | 1.69 | 12.9 | 8.58 | 0.79 | 14.4 | 1.47 |

Escalonamento

Calheta - Proteção de Enrocamento

| $\Delta Z$ | $\Sigma L$ | Trecho | $h_c$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 32.1 | 1 | 1.38 | 0.48 | 0.33 | 32.8 |
| 1-2 | 64.2 | 1 | 1.38 | 0.48 | 0.33 | 32.8 |
| 2-3 | 96.3 | 1 | 1.38 | 0.48 | 0.33 | 32.8 |
| 3-4 | 128.4 | 1 | 1.38 | 0.48 | 0.33 | 32.8 |
| 4-5 | 160.5 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 5-6 | 173.7 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 6-7 | 186.9 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 7-8 | 200.1 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 8-9 | 213.3 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 9-10 | 226.5 | 2 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |

| Varíaveis | | |
|---|---|---|
| $T_R$ | [anos] | *Tempo de retorno* |
| $H_{máx}$ | [m] | *Altura máxima de onda* |
| T | [s] | *Período de Onda* |
| L | [m] | *Comprimento de Onda* |
| $(H/L)_{máx}$ | [-] | *Declividade máxima de Miche* |
| $H_{design}$ | [m] | *Altura de Onda de Dimensionamento* |
| $C_D$ | [-] | *Coeficiente de Resistência* |
| $C_M$ | [-] | *Coeficiente de Inércia* |
| $C_L$ | [-] | *Coeficiente de Sustentação* |
| $\gamma_{mar}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $\gamma_{betão}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico do Betão* |
| $\gamma_{PEAD}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da conduta de PEAD* |
| $W_{u.c.}$ | [kg/m] | *Massa Unitária da conduta de PEAD* |
| e | [m] | *Espaçamento entre Anéis* |
| Ø' | [°] | *Ângulo de Atrito da Interface Anel de Betão - Fundo Marítimo* |
| F.S. | [-] | *Fator de Segurança* |
| $F_H$ | [N/m] | *Força Horizontal unitária* |
| $F_V$ | [N/m] | *Força Vertical Unitária* |
| $N_{anéis}$ | [-] | *Número de Anéis de Betão* |
| $W_{anel}$ | [kg] | *Massa de um Anel de Betão* |
| $Z_{fundo}$ | [m] | *Cota do Fundo* |
| $N_{PMAV}$ | [m] | *Nível de água em Preia-Mar* |
| $Z_{coroamento}$ | [m] | *Cota do Coroamento* |
| $h_c$ | [m] | *Altura da Proteção de Enrocamento* |
| d | [m] | *Profundidade* |
| $W_{núcleo}$ | [kg] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Núcleo* |
| $W_{M.R.}$ | [t] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Manto Resistente* |
| $D_{n50}$ | [m] | *Dimensão Média dos Blocos* |

| | |
|---|---|
| ***Projeto:*** | **Emissário Submarino de Câmara de Lobos - Solução A** |
| ***Instituição:*** | **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto** |
| ***Data:*** | **Maio/2014** |

U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Características do projeto**

**Caudal de Projeto** 0.16667 [$m^3/s$]

**Dados Geométricos**

**Emissário**

*Material* Polietileno de alta densidade

*Diâmetro* 400 [mm]

*Troço Marítimo* 339.78 [m] *Troço Terrestre* 40 [m]

**Difusor**

*Profundidade Máxima* 20 [m]

*Comprimento* 40 [m]

*Número de risers* 4 [m]

**Dimensionamento Hidráulico**

**Emissário**

| | | | | Perdas de carga | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{exu}$ | $Q_{desc}$ | $U_{desc}$ | $L_{exu}$ | $\Delta H_{cont}$ | $\Delta H_{cc}$ | $\Delta H_{total\ exu}$ |
| [mm] | [L/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 400 | 167 | 1.326 | 379.78 | 2.74 | 0.04 | 2.78 |

**Cota Piezométrica - ETAR**

| | | |
|---|---|---|
| Cota piezométrica mínima na ETAR | 6.5 | [m] ao ZH! |
| *(se não for possível garantir a cota mencionada o sistema não pode funcionar graviticamente)* | | |

$D_{exu}$ *Diâmetro do exutor;*

$Q_{desc}$ *Caudal descarregado;*

$U_{desc}$ *Velocidade média de escoamento;*

$\Delta H_{cont}$ *Perda de carga contínua;*

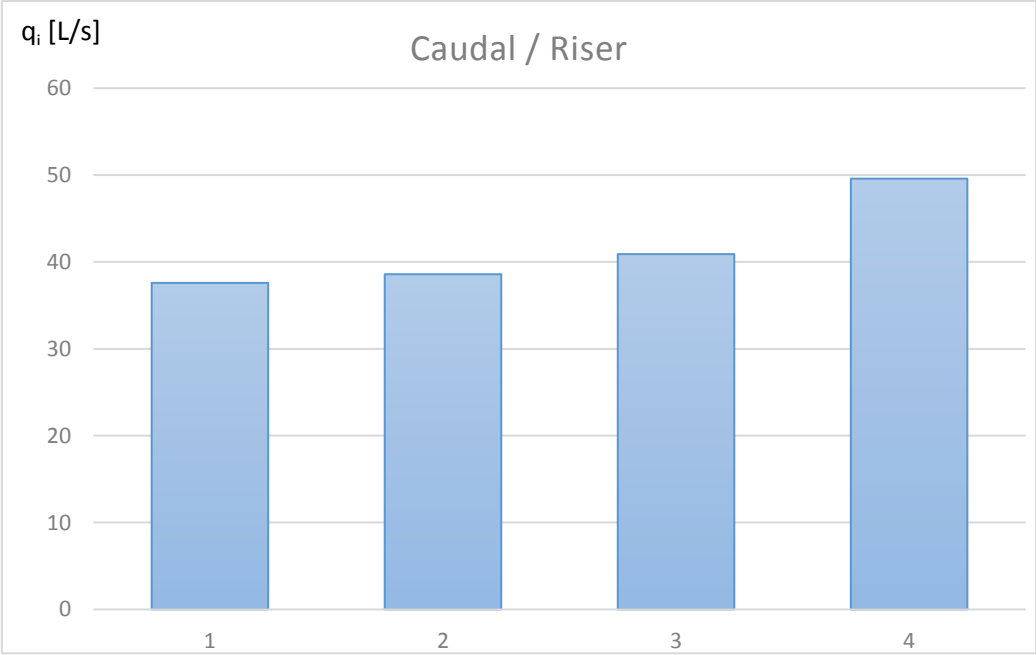
$\Delta H_{CC}$ *Perda de carga localizada à saida da câmara de carga*

$\Delta H_{total\ exu}$ *Perda de carga global no exutor*

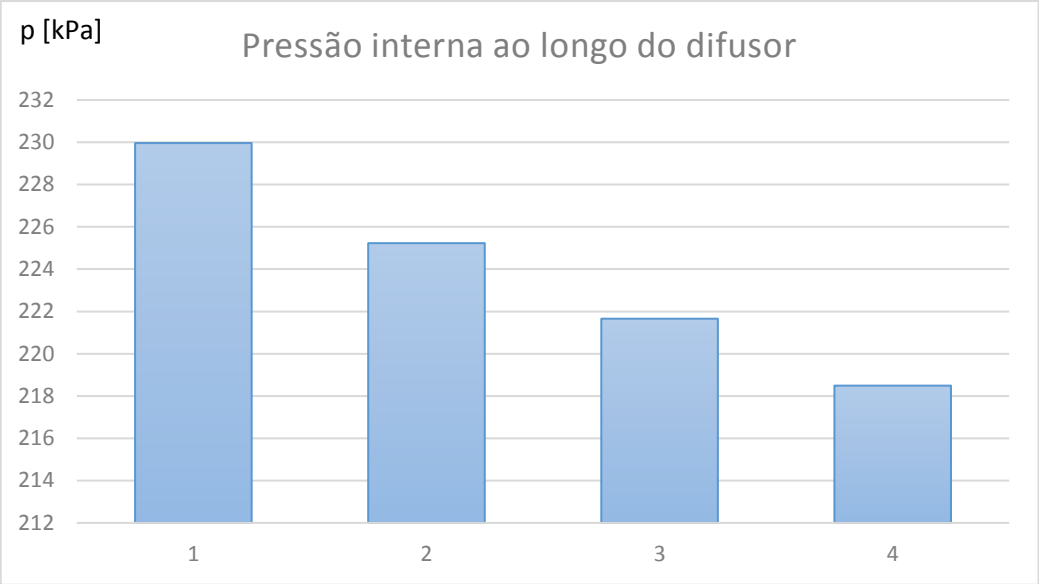
**Comportamento Hidráulico**

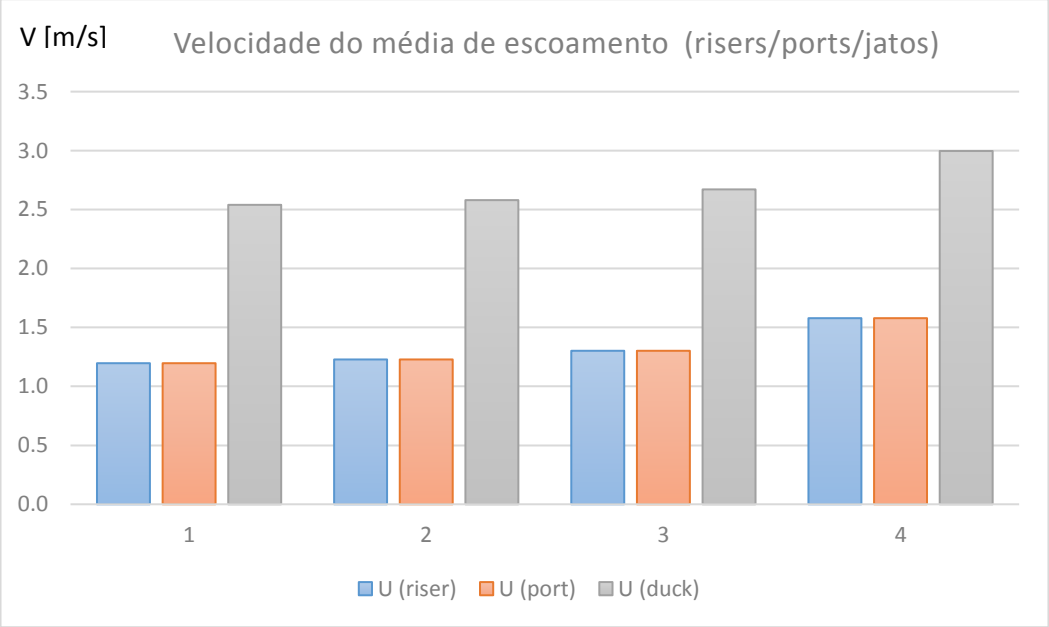
**Difusor**

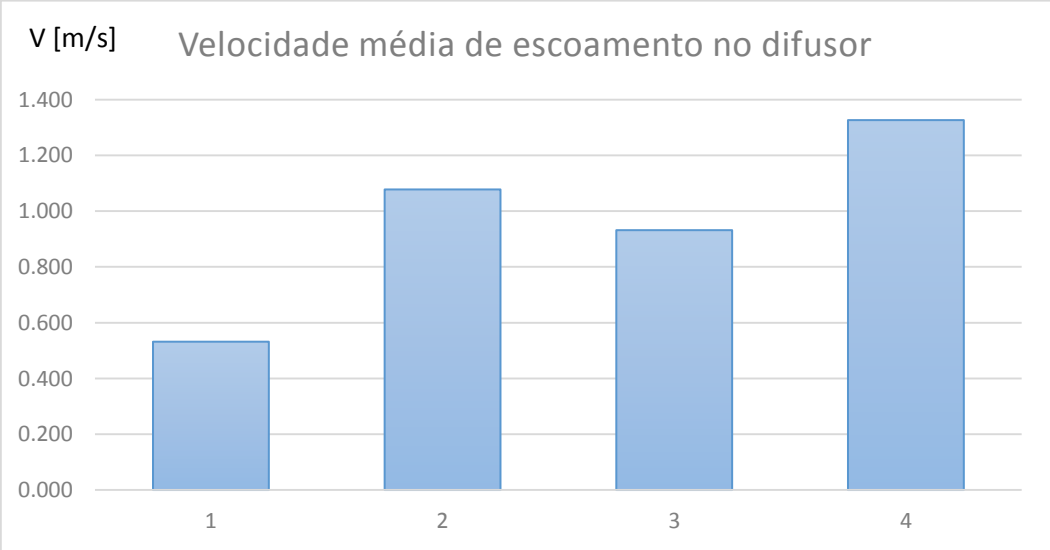
| Riser | q | P | $P/\gamma_{MAR}$ | $U_{dif}$ | $U_{riser}$ | $U_{port}$ | $U_{duck}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [L/s] | [kPa] | [m] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m/s] |
| 1 | 37.59 | 229.96 | 22.91 | 0.532 | 1.197 | 1.197 | 2.540 |
| 2 | 38.59 | 225.23 | 22.44 | 1.078 | 1.228 | 1.228 | 2.580 |
| 3 | 40.90 | 221.66 | 22.09 | 0.932 | 1.302 | 1.302 | 2.671 |
| 4 | 49.59 | 218.49 | 21.77 | 1.326 | 1.578 | 1.578 | 2.996 |
| $\sum$ | 166.67 | | | | | | |




| | |
|---|---|
| q | *Caudal descarregado em cada riser* |
| P | *Pressão relativa (eixo do difusor)* |
| $U_{dif}$ | *Velocidade média de escoamento - Difusor* |
| $U_{riser}$ | *Velocidade média de escoamento - Riser* |
| $U_{port}$ | *Velocidade média de escoamento - Porta* |
| $U_{duck}$ | *Velocidade média de escoamento - Válvula "Duckill"* |


p [kPa]
Pressão interna ao longo do difusor
232
230
228
226
224
222
220
218
216
214
212
1
2
3
4


V [m/s]
Velocidade do média de escoamento (risers/ports/jatos)
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
1
2
3
4
U (riser)
U (port)
U (duck)


V [m/s]
Velocidade média de escoamento no difusor
1.400
1.200
1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
1
2
3
4

**Intrusão salina (durante a descarga)**

| Riser | qi | ui (jato) | Dp,i | Fr | Intrusão |
|---|---|---|---|---|---|
| | [l/s] | [m/s] | [m] | [-] | |
| 1 | 37.6 | 2.54 | 0.2 | 11.5 | Ok! |
| 2 | 38.6 | 2.58 | 0.2 | 11.6 | Ok! |
| 3 | 40.9 | 2.67 | 0.2 | 12.0 | Ok! |
| 4 | 49.6 | 3.00 | 0.2 | 13.5 | Ok! |

Não existem problemas de intrusão salina

**Eficiência Ambiental**

**Diluição / Dispersão / Die-off**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $D_i$ | 868.3004 | [-] | *Diluição inicial* |
| $D_h$ | 1.202085 | [-] | *Dispersão horizontal* |
| $D_b$ | 1.635003 | [-] | *Die-Off* |

| **Descarga** | | | | **Costa** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{totais}$ | 1.00E+07 | [un/100ml] | → | $C_{totais}$ | 5859.7101 | [un/100ml] |
| $C_{fecais}$ | 1.00E+06 | [un/100ml] | → | $C_{fecais}$ | 585.97101 | [un/100ml] |

**Dimensionamento Estrutural**

**Características da agitação marítima**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_R$ | 100 | [anos] | *Período de Retorno* |
| $H_{des}$ | 8.5 | [m] | *Altura de Onda de Projeto* |
| $T_{des}$ | 9 | [s] | *Período de Projeto* |
| $L_0$ | 126 | [m] | *Comprimento de Onda* |

| Zona de Rebentação | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Batimétrica | $(H/L_0)_{MÁX}$ | $H_{MÁXMiche}$ | 0.78*d | $H_{design}$ | Rebentação |
| [m] | [-] | [m] | [m] | [m] | |
| 1 | 0.0070 | 0.89 | 0.78 | 0.78 | Zona de Rebentação |
| 2 | 0.0140 | 1.78 | 1.56 | 1.56 | Zona de Rebentação |
| 3 | 0.0210 | 2.65 | 2.34 | 2.34 | Zona de Rebentação |
| 4 | 0.0278 | 3.52 | 3.12 | 3.12 | Zona de Rebentação |
| 5 | 0.0345 | 4.37 | 3.90 | 3.9 | Zona de Rebentação |
| 6 | 0.0411 | 5.19 | 4.68 | 4.68 | Zona de Rebentação |
| 7 | 0.0474 | 6.00 | 5.46 | 5.46 | Zona de Rebentação |
| 8 | 0.0536 | 6.77 | 6.24 | 6.24 | Zona de Rebentação |
| 9 | 0.0595 | 7.52 | 7.02 | 7.02 | Zona de Rebentação |
| 10 | 0.0652 | 8.24 | 7.80 | 7.8 | Zona de Rebentação |
| 11 | 0.0706 | 8.93 | 8.58 | 8.5 | Ok |
| 12 | 0.0758 | 9.58 | 9.36 | 8.5 | Ok |
| 13 | 0.0807 | 10.20 | 10.14 | 8.5 | Ok |
| 14 | 0.0853 | 10.79 | 10.92 | 8.5 | Ok |
| 15 | 0.0897 | 11.34 | 11.70 | 8.5 | Ok |
| 16 | 0.0938 | 11.86 | 12.48 | 8.5 | Ok |
| 17 | 0.0976 | 12.34 | 13.26 | 8.5 | Ok |
| 18 | 0.1012 | 12.80 | 14.04 | 8.5 | Ok |
| 19 | 0.1045 | 13.22 | 14.82 | 8.5 | Ok |
| 20 | 0.1076 | 13.61 | 15.60 | 8.5 | Ok |

| Dimensionamento de anéis de betão | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CD | 2 | | $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | | e | 5 | [m] |
| CM | 2 | | $\gamma_{betão}$ | 25 | [kN/m$^3$] | | Ø' | 30 | [$^o$] |
| CL | 1 | | $\gamma_{PEAD}$ | 8.829 | [kN/m$^3$] | | F.S. | 1.5 | [-] |
| | | | $W_{u.c.}$ | 0.226611 | [kg/m] | | | | |

**Cenário 1 - Solução optimizada, Todos os anéis diferentes**

| $\Delta$Z | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [m$^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5362 | 2.10 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 4851 | 1.90 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 4 | 4596 | 1.80 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 4 | 4348 | 1.71 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 4 | 4110 | 1.61 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 4 | 3878 | 1.52 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 4 | 3653 | 1.43 |

**Cenário 2 - Todos os anéis iguais**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 4 | 5614 | 2.20 |

**Cenário 3 - Blocos diferentes em intervalos de 100m**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 4 | 3878 | 1.52 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 4 | 3878 | 1.52 |

**Cenário 4 - Apenas 2 tipos de anéis**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 4851 | 1.90 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 4 | 4851 | 1.90 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 4 | 4851 | 1.90 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 4 | 4851 | 1.90 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 4 | 4851 | 1.90 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 4 | 4851 | 1.90 |

## Comparação de Resultados

| Cenário | $\sum N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | |
|---|---|---|---|
| [-] | [-] | [$m^3$] | Descrição |
| 1 | 43.04369 | 80 | *Todos os anéis diferentes* |
| 2 | 43.04369 | 95 | *Todos os anéis iguais* |
| 3 | 43.04369 | 85 | *Aneis iguais em intervalos de 100m* |
| 4 | 43.04369 | 87 | *Apenas 2 tipos de anel* |

## Anéis de Afundamento - Zona de Rebetanção

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel | $V_{betão}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] | [$m^3$] |
| 0-1 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 1-2 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 2-3 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 3-4 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 4-5 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 5-6 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |
| 6-7 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |
| 7-8 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |
| 8-9 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |
| 9-10 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $\sum N_{anéis}$ | 24.9 | $V_{total\ betão}$ | 4.08 | [$m^3$] |

**Zona de Rebentação - Proteção de Enrocamento**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_{design}$ | 15 | [s] | *Período de Projeto* |
| S | 2 | [-] | *Nível de estragos admissível* |
| $\gamma_{material}$ | 29 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico dos Blocos* |
| $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $N_{PMAV}$ | 2.9 | [m] | *Nível de Água em Preia Mar* |
| tg $\theta$ | 0.5 | [-] | *Inclinação dos Taludes* |

Proteção de Enrocamento

| $Z_{fundo}$ | $N_{PMAV}$ | $Z_{coroamento}$ | $h_c$ | d | $H_{des}$ | $D_{n50}$ | $W_{van\ der\ Meer}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kN] | [kg] |
| 0 | 2.9 | 2.6 | 2.6 | 2.9 | 0.78 | 0.26 | 0.5 | 52.3 |
| -1 | 2.9 | 1.6 | 2.6 | 3.9 | 1.56 | 0.39 | 1.7 | 177.9 |
| -2 | 2.9 | 0.6 | 2.6 | 4.9 | 2.34 | 0.49 | 3.5 | 355.2 |
| -3 | 2.9 | -0.4 | 2.6 | 5.9 | 3.12 | 0.58 | 5.7 | 582.6 |
| -4 | 2.9 | -1.4 | 2.6 | 6.9 | 3.9 | 0.66 | 8.4 | 861.1 |
| -5 | 2.9 | -2.4 | 2.6 | 7.9 | 4.68 | 0.74 | 11.7 | 1192.1 |
| -6 | 2.9 | -3.4 | 2.6 | 8.9 | 5.46 | 0.81 | 15.5 | 1577.2 |
| -7 | 2.9 | -4.4 | 2.6 | 9.9 | 6.24 | 0.88 | 19.8 | 2017.9 |
| -8 | 2.9 | -5.4 | 2.6 | 10.9 | 7.02 | 0.95 | 24.7 | 2515.7 |
| -9 | 2.9 | -6.4 | 2.6 | 11.9 | 7.8 | 1.01 | 30.1 | 3072.2 |
| -10 | 2.9 | -7.4 | 2.6 | 12.9 | 8.58 | 1.08 | 36.2 | 3688.8 |

Escalonamento

Câmara de Lobos - Proteção de Enrocamento

| $\Delta Z$ | $\Sigma L$ | Trecho | $h_c$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 10.5 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 1-2 | 20.9 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 2-3 | 31.4 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 3-4 | 41.8 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 4-5 | 52.3 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 5-6 | 66.7 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 6-7 | 81.2 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 7-8 | 95.6 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 8-9 | 110.1 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 9-10 | 124.6 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |

| Varíaveis | | |
|---|---|---|
| $T_R$ | [anos] | *Tempo de retorno* |
| $H_{máx}$ | [m] | *Altura máxima de onda* |
| T | [s] | *Período de Onda* |
| L | [m] | *Comprimento de Onda* |
| $(H/L)_{máx}$ | [-] | *Declividade máxima de Miche* |
| $H_{design}$ | [m] | *Altura de Onda de Dimensionamento* |
| $C_D$ | [-] | *Coeficiente de Resistência* |
| $C_M$ | [-] | *Coeficiente de Inércia* |
| $C_L$ | [-] | *Coeficiente de Sustentação* |
| $\gamma_{mar}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $\gamma_{betão}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico do Betão* |
| $\gamma_{PEAD}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da conduta de PEAD* |
| $W_{u.c.}$ | [kg/m] | *Massa Unitária da conduta de PEAD* |
| e | [m] | *Espaçamento entre Anéis* |
| Ø' | [°] | *Ângulo de Atrito da Interface Anel de Betão - Fundo Marítimo* |
| F.S. | [-] | *Fator de Segurança* |
| $F_H$ | [N/m] | *Força Horizontal unitária* |
| $F_V$ | [N/m] | *Força Vertical Unitária* |
| $N_{anéis}$ | [-] | *Número de Anéis de Betão* |
| $W_{anel}$ | [kg] | *Massa de um Anel de Betão* |
| $Z_{fundo}$ | [m] | *Cota do Fundo* |
| $N_{PMAV}$ | [m] | *Nível de água em Preia-Mar* |
| $Z_{coroamento}$ | [m] | *Cota do Coroamento* |
| $h_c$ | [m] | *Altura da Proteção de Enrocamento* |
| d | [m] | *Profundidade* |
| $W_{núcleo}$ | [kg] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Núcleo* |
| $W_{M.R.}$ | [t] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Manto Resistente* |
| $D_{n50}$ | [m] | *Dimensão Média dos Blocos* |

| | |
|---|---|
| ***Projeto:*** | **Emissário Submarino de Câmara de Lobos - Solução B** |
| ***Instituição:*** | **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto** |
| ***Data:*** | **Maio/2014** |

U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Características do projeto**

**Caudal de Projeto** 0.16667 [$m^3/s$]

**Dados Geométricos**

**Emissário**

*Material* Polietileno de alta densidade

*Diâmetro* 400 [mm]

*Troço Marítimo* 426.34 [m] *Troço Terrestre* 40 [m]

**Difusor**

*Profundidade Máxima* 25 [m]

*Comprimento* 40 [m]

*Número de risers* 4 [m]

**Dimensionamento Hidráulico**

**Emissário**

| | | | | Perdas de carga | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{exu}$ | $Q_{desc}$ | $U_{desc}$ | $L_{exu}$ | $\Delta H_{cont}$ | $\Delta H_{cc}$ | $\Delta H_{total\ exu}$ |
| [mm] | [L/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 400 | 167 | 1.326 | 466.34 | 3.36 | 0.04 | 3.41 |

**Cota Piezométrica - ETAR**

| | | |
|---|---|---|
| Cota piezométrica mínima na ETAR | 7.3 | [m] ao ZH! |
| *(se não for possível garantir a cota mencionada o sistema não pode funcionar graviticamente)* | | |

$D_{exu}$ *Diâmetro do exutor;*

$Q_{desc}$ *Caudal descarregado;*

$U_{desc}$ *Velocidade média de escoamento;*

$\Delta H_{cont}$ *Perda de carga contínua;*

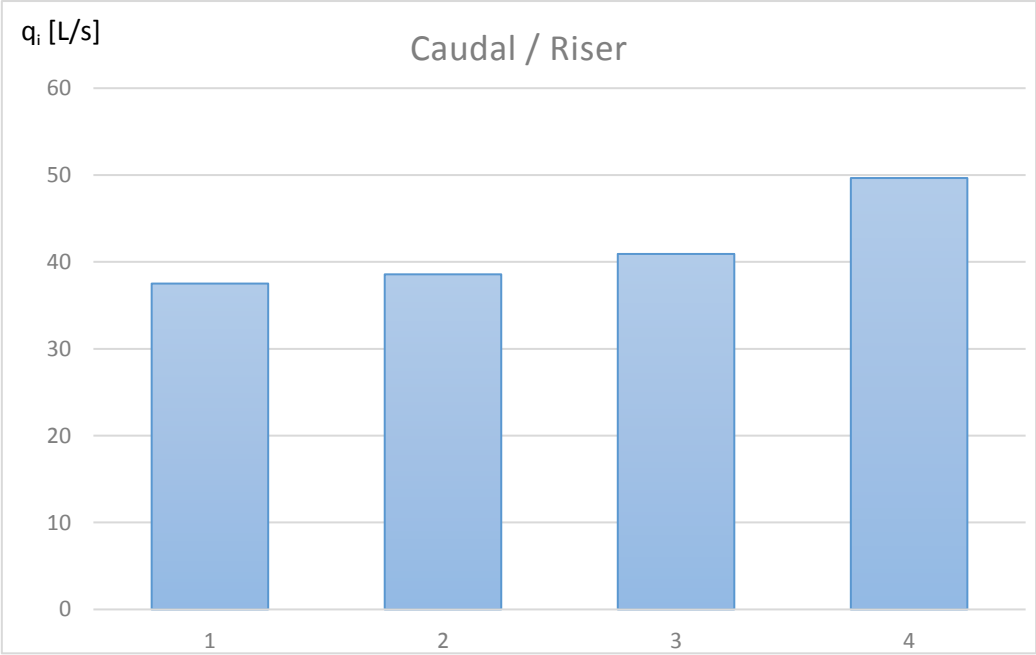
$\Delta H_{CC}$ *Perda de carga localizada à saida da câmara de carga*

$\Delta H_{total\ exu}$ *Perda de carga global no exutor*

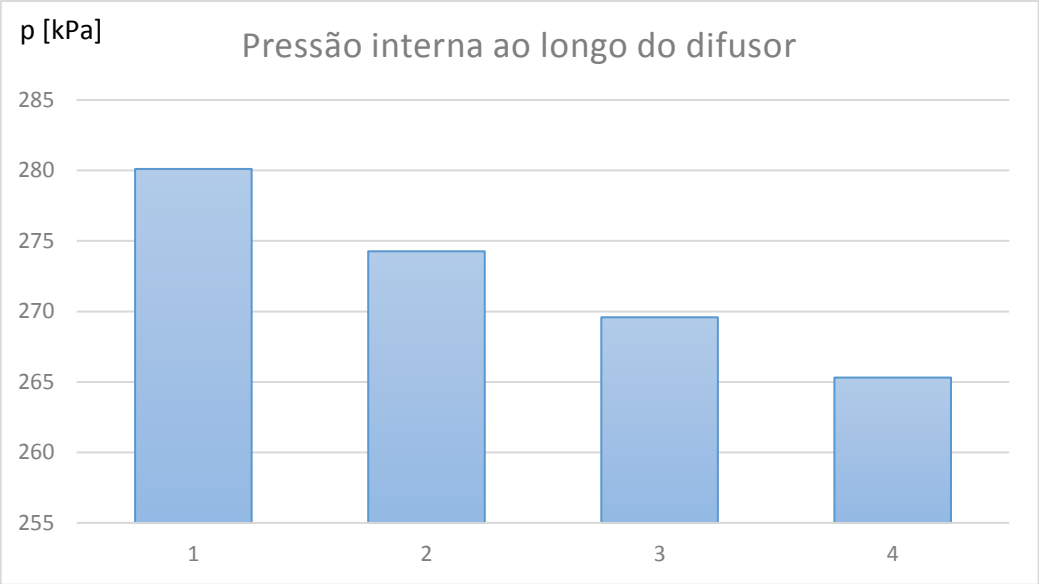
**Comportamento Hidráulico**

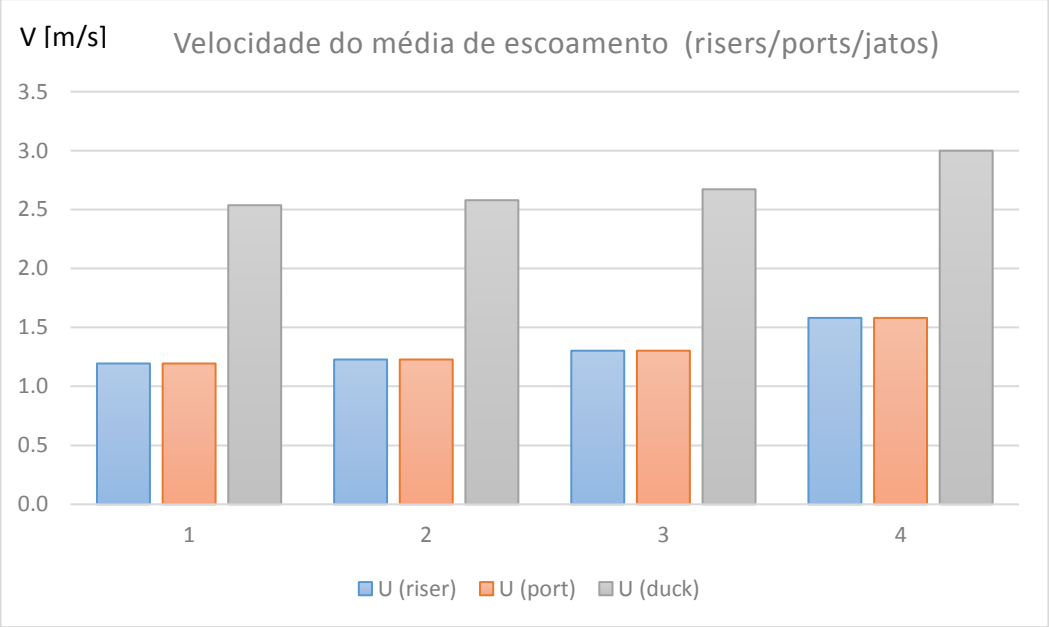
**Difusor**

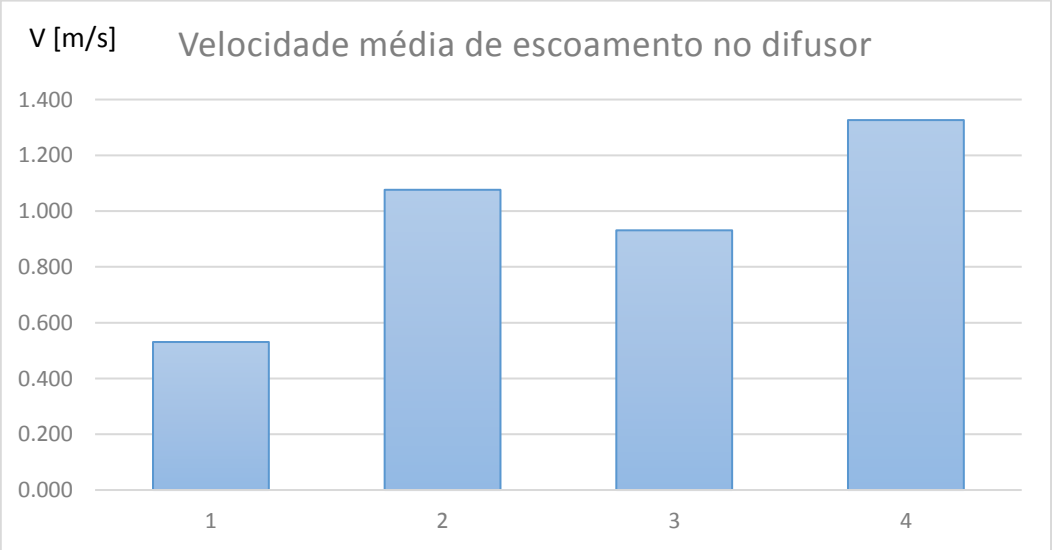
| Riser | q | P | $P/\gamma_{MAR}$ | $U_{dif}$ | $U_{riser}$ | $U_{port}$ | $U_{duck}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [L/s] | [kPa] | [m] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m/s] |
| 1 | 37.51 | 280.11 | 27.91 | 0.531 | 1.194 | 1.194 | 2.537 |
| 2 | 38.57 | 274.27 | 27.33 | 1.076 | 1.228 | 1.228 | 2.579 |
| 3 | 40.92 | 269.59 | 26.86 | 0.931 | 1.303 | 1.303 | 2.672 |
| 4 | 49.66 | 265.31 | 26.44 | 1.326 | 1.581 | 1.581 | 2.999 |
| $\sum$ | 166.67 | | | | | | |




| | |
|---|---|
| q | *Caudal descarregado em cada riser* |
| P | *Pressão relativa (eixo do difusor)* |
| $U_{dif}$ | *Velocidade média de escoamento - Difusor* |
| $U_{riser}$ | *Velocidade média de escoamento - Riser* |
| $U_{port}$ | *Velocidade média de escoamento - Porta* |
| $U_{duck}$ | *Velocidade média de escoamento - Válvula "Duckill"* |


p [kPa]
Pressão interna ao longo do difusor
285
280
275
270
265
260
255
1
2
3
4


V [m/s]
Velocidade do média de escoamento (risers/ports/jatos)
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
1
2
3
4
U (riser)
U (port)
U (duck)


V [m/s]
Velocidade média de escoamento no difusor
1.400
1.200
1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
1
2
3
4

**Intrusão salina (durante a descarga)**

| Riser | qi | ui (jato) | Dp,i | Fr | Intrusão |
|---|---|---|---|---|---|
| | [l/s] | [m/s] | [m] | [-] | |
| 1 | 37.5 | 2.54 | 0.2 | 11.4 | Ok! |
| 2 | 38.6 | 2.58 | 0.2 | 11.6 | Ok! |
| 3 | 40.9 | 2.67 | 0.2 | 12.1 | Ok! |
| 4 | 49.7 | 3.00 | 0.2 | 13.5 | Ok! |

Não existem problemas de intrusão salina

**Eficiência Ambiental**

**Diluição / Dispersão / Die-off**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $D_i$ | 1085.813 | [-] | *Diluição inicial* |
| $D_h$ | 1.279639 | [-] | *Dispersão horizontal* |
| $D_b$ | 1.884391 | [-] | *Die-Off* |

| **Descarga** | | | | **Costa** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{totais}$ | 1.00E+07 | [un/100ml] | → | $C_{totais}$ | 3819.3233 | [un/100ml] |
| $C_{fecais}$ | 1.00E+06 | [un/100ml] | → | $C_{fecais}$ | 381.93233 | [un/100ml] |

**Dimensionamento Estrutural**

**Características da agitação marítima**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_R$ | 100 | [anos] | *Período de Retorno* |
| $H_{des}$ | 8.5 | [m] | *Altura de Onda de Projeto* |
| $T_{des}$ | 9 | [s] | *Período de Projeto* |
| $L_0$ | 126 | [m] | *Comprimento de Onda* |

| Zona de Rebentação | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Batimétrica | $(H/L_0)_{MÁX}$ | $H_{MÁXMiche}$ | 0.78*d | $H_{design}$ | Rebentação |
| [m] | [-] | [m] | [m] | [m] | |
| 1 | 0.0070 | 0.89 | 0.78 | 0.78 | Zona de Rebentação |
| 2 | 0.0140 | 1.78 | 1.56 | 1.56 | Zona de Rebentação |
| 3 | 0.0210 | 2.65 | 2.34 | 2.34 | Zona de Rebentação |
| 4 | 0.0278 | 3.52 | 3.12 | 3.12 | Zona de Rebentação |
| 5 | 0.0345 | 4.37 | 3.90 | 3.9 | Zona de Rebentação |
| 6 | 0.0411 | 5.19 | 4.68 | 4.68 | Zona de Rebentação |
| 7 | 0.0474 | 6.00 | 5.46 | 5.46 | Zona de Rebentação |
| 8 | 0.0536 | 6.77 | 6.24 | 6.24 | Zona de Rebentação |
| 9 | 0.0595 | 7.52 | 7.02 | 7.02 | Zona de Rebentação |
| 10 | 0.0652 | 8.24 | 7.80 | 7.8 | Zona de Rebentação |
| 11 | 0.0706 | 8.93 | 8.58 | 8.5 | Ok |
| 12 | 0.0758 | 9.58 | 9.36 | 8.5 | Ok |
| 13 | 0.0807 | 10.20 | 10.14 | 8.5 | Ok |
| 14 | 0.0853 | 10.79 | 10.92 | 8.5 | Ok |
| 15 | 0.0897 | 11.34 | 11.70 | 8.5 | Ok |
| 16 | 0.0938 | 11.86 | 12.48 | 8.5 | Ok |
| 17 | 0.0976 | 12.34 | 13.26 | 8.5 | Ok |
| 18 | 0.1012 | 12.80 | 14.04 | 8.5 | Ok |
| 19 | 0.1045 | 13.22 | 14.82 | 8.5 | Ok |
| 20 | 0.1076 | 13.61 | 15.60 | 8.5 | Ok |
| 21 | 0.1105 | 13.97 | 16.38 | 8.5 | Ok |
| 22 | 0.1132 | 14.31 | 17.16 | 8.5 | Ok |
| 23 | 0.1156 | 14.62 | 17.94 | 8.5 | Ok |
| 24 | 0.1179 | 14.91 | 18.72 | 8.5 | Ok |
| 25 | 0.1200 | 15.17 | 19.50 | 8.5 | Ok |

| Dimensionamento de anéis de betão | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CD | 2 | | $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | | e | 5 | [m] |
| CM | 2 | | $\gamma_{betão}$ | 25 | [kN/m$^3$] | | Ø' | 30 | [$^o$] |
| CL | 1 | | $\gamma_{PEAD}$ | 8.829 | [kN/m$^3$] | | F.S. | 1.5 | [-] |
| | | | $W_{u.c.}$ | 0.226611 | [kg/m] | | kN/m | | |

**Cenário 1 - Solução optimizada, Todos os anéis diferentes**

| $\Delta$Z | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [m$^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5362 | 2.10 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 4851 | 1.90 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 4 | 4596 | 1.80 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 4 | 4348 | 1.71 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 4 | 4110 | 1.61 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 4 | 3878 | 1.52 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 4 | 3653 | 1.43 |
| 20-21 | 1298 | 279 | 3 | 3436 | 1.35 |
| 21-22 | 1213 | 258 | 3 | 3229 | 1.27 |
| 22-23 | 1133 | 239 | 3 | 3031 | 1.19 |
| 23-24 | 1056 | 220 | 3 | 2844 | 1.12 |
| 24-25 | 984 | 203 | 3 | 2666 | 1.05 |

**Cenário 2 - Todos os anéis iguais**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 20-21 | 1298 | 279 | 3 | 5614 | 2.20 |
| 21-22 | 1213 | 258 | 3 | 5614 | 2.20 |
| 22-23 | 1133 | 239 | 3 | 5614 | 2.20 |
| 23-24 | 1056 | 220 | 3 | 5614 | 2.20 |
| 24-25 | 984 | 203 | 3 | 5614 | 2.20 |

**Cenário 3 - Blocos diferentes em intervalos de 100m**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 4 | 3878 | 1.52 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 4 | 3878 | 1.52 |
| 20-21 | 1298 | 279 | 3 | 3878 | 1.52 |
| 21-22 | 1213 | 258 | 3 | 3878 | 1.52 |
| 22-23 | 1133 | 239 | 3 | 3878 | 1.52 |
| 23-24 | 1056 | 220 | 3 | 2844 | 1.12 |
| 24-25 | 984 | 203 | 3 | 2844 | 1.12 |

**Cenário 4 - Apenas 2 tipos de anéis**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 4 | 4348 | 1.71 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 4 | 4348 | 1.71 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 4 | 4348 | 1.71 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 4 | 4348 | 1.71 |
| 20-21 | 1298 | 279 | 3 | 4348 | 1.71 |
| 21-22 | 1213 | 258 | 3 | 4348 | 1.71 |
| 22-23 | 1133 | 239 | 3 | 4348 | 1.71 |
| 23-24 | 1056 | 220 | 3 | 4348 | 1.71 |
| 24-25 | 984 | 203 | 3 | 4348 | 1.71 |

## Comparação de Resultados

| Cenário | $\sum N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | |
|---|---|---|---|
| [-] | [-] | [$m^3$] | Descrição |
| 1 | 60.35671 | 100 | *Todos os anéis diferentes* |
| 2 | 60.35671 | 133 | *Todos os anéis iguais* |
| 3 | 60.35671 | 108 | *Aneis iguais em intervalos de 100m* |
| 4 | 60.35671 | 116 | *Apenas 2 tipos de anel* |

## Anéis de Afundamento - Zona de Rebetanção

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel | $V_{betão}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] | [$m^3$] |
| 0-1 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 1-2 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 2-3 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 3-4 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 4-5 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 5-6 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |
| 6-7 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |
| 7-8 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |
| 8-9 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |
| 9-10 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $\sum N_{anéis}$ | 24.9 | $V_{total\ betão}$ | 4.08 | [$m^3$] |

## Zona de Rebentação - Proteção de Enrocamento

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_{design}$ | 15 | [s] | *Período de Projeto* |
| S | 2 | [-] | *Nível de estragos admissível* |
| $\gamma_{material}$ | 29 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico dos Blocos* |
| $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $N_{PMAV}$ | 2.9 | [m] | *Nível de Água em Preia Mar* |
| tg $\theta$ | 0.5 | [-] | *Inclinação dos Taludes* |

Proteção de Enrocamento

| $Z_{fundo}$ | $N_{PMAV}$ | $Z_{coroamento}$ | $h_c$ | d | $H_{des}$ | $D_{n50}$ | $W_{van\ der\ Meer}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kN] | [kg] |
| 0 | 2.9 | 2.6 | 2.6 | 2.9 | 0.78 | 0.26 | 0.5 | 52.3 |
| -1 | 2.9 | 1.6 | 2.6 | 3.9 | 1.56 | 0.39 | 1.7 | 177.9 |
| -2 | 2.9 | 0.6 | 2.6 | 4.9 | 2.34 | 0.49 | 3.5 | 355.2 |
| -3 | 2.9 | -0.4 | 2.6 | 5.9 | 3.12 | 0.58 | 5.7 | 582.6 |
| -4 | 2.9 | -1.4 | 2.6 | 6.9 | 3.9 | 0.66 | 8.4 | 861.1 |
| -5 | 2.9 | -2.4 | 2.6 | 7.9 | 4.68 | 0.74 | 11.7 | 1192.1 |
| -6 | 2.9 | -3.4 | 2.6 | 8.9 | 5.46 | 0.81 | 15.5 | 1577.2 |
| -7 | 2.9 | -4.4 | 2.6 | 9.9 | 6.24 | 0.88 | 19.8 | 2017.9 |
| -8 | 2.9 | -5.4 | 2.6 | 10.9 | 7.02 | 0.95 | 24.7 | 2515.7 |
| -9 | 2.9 | -6.4 | 2.6 | 11.9 | 7.8 | 1.01 | 30.1 | 3072.2 |
| -10 | 2.9 | -7.4 | 2.6 | 12.9 | 8.58 | 1.08 | 36.2 | 3688.8 |

Escalonamento

Câmara de Lobos - Proteção de Enrocamento

| $\Delta Z$ | $\Sigma L$ | Trecho | $h_c$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 10.5 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 1-2 | 20.9 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 2-3 | 31.4 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 3-4 | 41.8 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 4-5 | 52.3 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 5-6 | 66.7 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 6-7 | 81.2 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 7-8 | 95.6 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 8-9 | 110.1 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 9-10 | 124.6 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |

| Varíaveis | | |
|---|---|---|
| $T_R$ | [anos] | *Tempo de retorno* |
| $H_{máx}$ | [m] | *Altura máxima de onda* |
| T | [s] | *Período de Onda* |
| L | [m] | *Comprimento de Onda* |
| $(H/L)_{máx}$ | [-] | *Declividade máxima de Miche* |
| $H_{design}$ | [m] | *Altura de Onda de Dimensionamento* |
| $C_D$ | [-] | *Coeficiente de Resistência* |
| $C_M$ | [-] | *Coeficiente de Inércia* |
| $C_L$ | [-] | *Coeficiente de Sustentação* |
| $\gamma_{mar}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $\gamma_{betão}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico do Betão* |
| $\gamma_{PEAD}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da conduta de PEAD* |
| $W_{u.c.}$ | [kg/m] | *Massa Unitária da conduta de PEAD* |
| e | [m] | *Espaçamento entre Anéis* |
| Ø' | [°] | *Ângulo de Atrito da Interface Anel de Betão - Fundo Marítimo* |
| F.S. | [-] | *Fator de Segurança* |
| $F_H$ | [N/m] | *Força Horizontal unitária* |
| $F_V$ | [N/m] | *Força Vertical Unitária* |
| $N_{anéis}$ | [-] | *Número de Anéis de Betão* |
| $W_{anel}$ | [kg] | *Massa de um Anel de Betão* |
| $Z_{fundo}$ | [m] | *Cota do Fundo* |
| $N_{PMAV}$ | [m] | *Nível de água em Preia-Mar* |
| $Z_{coroamento}$ | [m] | *Cota do Coroamento* |
| $h_c$ | [m] | *Altura da Proteção de Enrocamento* |
| d | [m] | *Profundidade* |
| $W_{núcleo}$ | [kg] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Núcleo* |
| $W_{M.R.}$ | [t] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Manto Resistente* |
| $D_{n50}$ | [m] | *Dimensão Média dos Blocos* |

| | |
|---|---|
| ***Projeto:*** | **Emissário Submarino de Câmara de Lobos - Solução C** |
| ***Instituição:*** | **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto** |
| ***Data:*** | **Maio/2014** |

U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Características do projeto**

**Caudal de Projeto** 0.16667 [$m^3/s$]

**Dados Geométricos**

**Emissário**

*Material* Polietileno de alta densidade

*Diâmetro* 400 [mm]

*Troço Marítimo* 509.55 [m] *Troço Terrestre* 40 [m]

**Difusor**

*Profundidade Máxima* 30 [m]

*Comprimento* 40 [m]

*Número de risers* 4 [m]

**Dimensionamento Hidráulico**

**Emissário**

| | | | | Perdas de carga | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{exu}$ | $Q_{desc}$ | $U_{desc}$ | $L_{exu}$ | $\Delta H_{cont}$ | $\Delta H_{cc}$ | $\Delta H_{total\ exu}$ |
| [mm] | [L/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 400 | 167 | 1.326 | 549.55 | 3.96 | 0.04 | 4.01 |

**Cota Piezométrica - ETAR**

| | | |
|---|---|---|
| Cota piezométrica mínima na ETAR | 8 | [m] ao ZH! |
| *(se não for possível garantir a cota mencionada o sistema não pode funcionar graviticamente)* | | |

$D_{exu}$ *Diâmetro do exutor;*

$Q_{desc}$ *Caudal descarregado;*

$U_{desc}$ *Velocidade média de escoamento;*

$\Delta H_{cont}$ *Perda de carga contínua;*

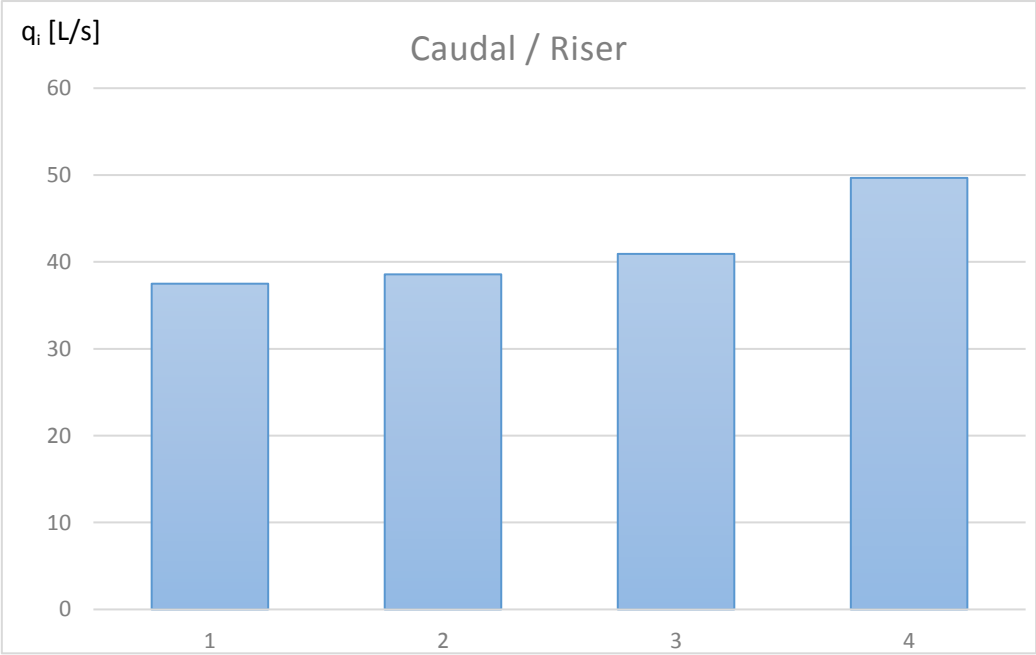
$\Delta H_{CC}$ *Perda de carga localizada à saida da câmara de carga*

$\Delta H_{total\ exu}$ *Perda de carga global no exutor*

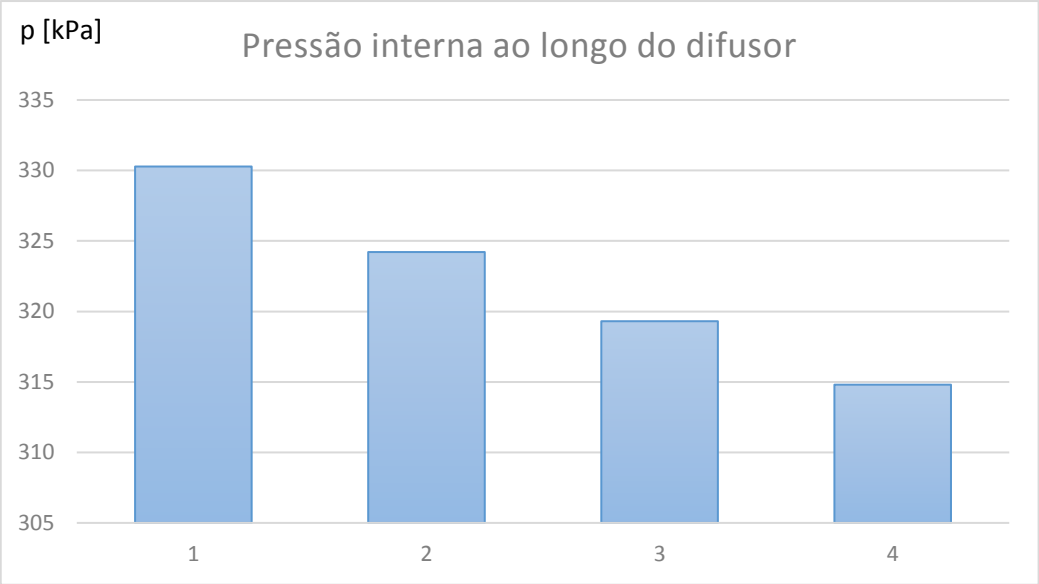
**Comportamento Hidráulico**

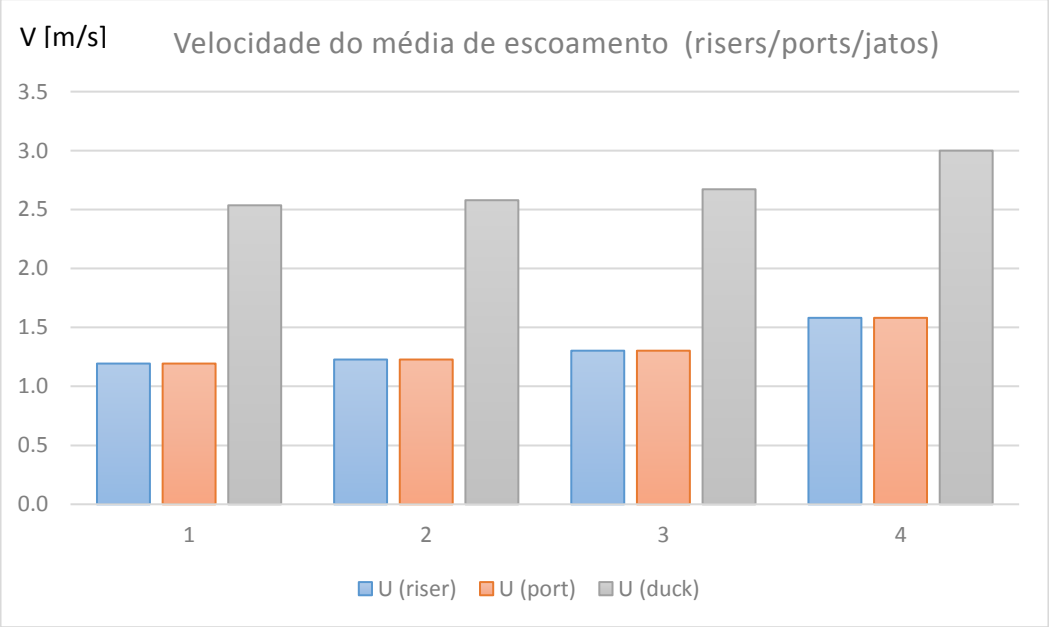
**Difusor**

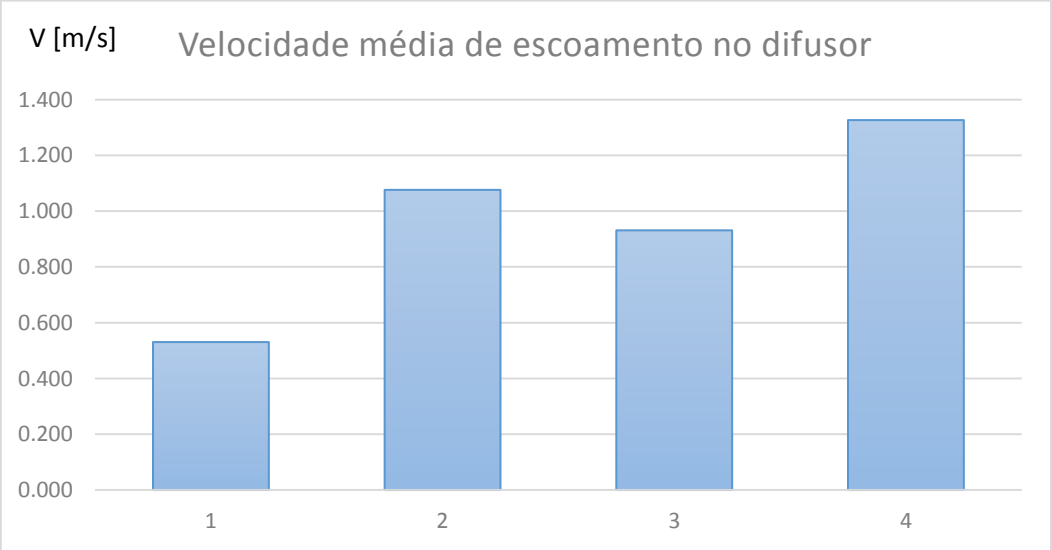
| Riser | q | P | $P/\gamma_{MAR}$ | $U_{dif}$ | $U_{riser}$ | $U_{port}$ | $U_{duck}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [L/s] | [kPa] | [m] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m/s] |
| 1 | 37.50 | 330.28 | 32.91 | 0.530 | 1.194 | 1.194 | 2.536 |
| 2 | 38.57 | 324.21 | 32.31 | 1.076 | 1.228 | 1.228 | 2.579 |
| 3 | 40.93 | 319.31 | 31.82 | 0.931 | 1.303 | 1.303 | 2.672 |
| 4 | 49.68 | 314.81 | 31.37 | 1.326 | 1.581 | 1.581 | 2.999 |
| $\sum$ | 166.67 | | | | | | |




| | |
|---|---|
| q | *Caudal descarregado em cada riser* |
| P | *Pressão relativa (eixo do difusor)* |
| $U_{dif}$ | *Velocidade média de escoamento - Difusor* |
| $U_{riser}$ | *Velocidade média de escoamento - Riser* |
| $U_{port}$ | *Velocidade média de escoamento - Porta* |
| $U_{duck}$ | *Velocidade média de escoamento - Válvula "Duckill"* |


p [kPa]
Pressão interna ao longo do difusor
335
330
325
320
315
310
305
1
2
3
4


V [m/s]
Velocidade do média de escoamento (risers/ports/jatos)
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
1
2
3
4
U (riser)
U (port)
U (duck)


V [m/s]
Velocidade média de escoamento no difusor
1.400
1.200
1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
1
2
3
4

**Intrusão salina (durante a descarga)**

| Riser | qi | ui (jato) | Dp,i | Fr | Intrusão |
|---|---|---|---|---|---|
| | [l/s] | [m/s] | [m] | [-] | |
| 1 | 37.5 | 2.54 | 0.2 | 11.4 | Ok! |
| 2 | 38.6 | 2.58 | 0.2 | 11.6 | Ok! |
| 3 | 40.9 | 2.67 | 0.2 | 12.1 | Ok! |
| 4 | 49.7 | 3.00 | 0.2 | 13.5 | Ok! |

Não existem problemas de intrusão salina

**Eficiência Ambiental**

**Diluição / Dispersão / Die-off**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $D_i$ | 1315.94 | [-] | *Diluição inicial* |
| $D_h$ | 1.352037 | [-] | *Dispersão horizontal* |
| $D_b$ | 2.159918 | [-] | *Die-Off* |

| **Descarga** | | | | **Costa** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{totais}$ | 1.00E+07 | [un/100ml] | → | $C_{totais}$ | 2602.1841 | [un/100ml] |
| $C_{fecais}$ | 1.00E+06 | [un/100ml] | → | $C_{fecais}$ | 260.21841 | [un/100ml] |

**Dimensionamento Estrutural**

**Características da agitação marítima**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_R$ | 100 | [anos] | *Período de Retorno* |
| $H_{des}$ | 8.5 | [m] | *Altura de Onda de Projeto* |
| $T_{des}$ | 9 | [s] | *Período de Projeto* |
| $L_0$ | 126 | [m] | *Comprimento de Onda* |

| Zona de Rebentação | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Batimétrica | $(H/L_0)_{MÁX}$ | $H_{MÁXMiche}$ | 0.78*d | $H_{design}$ | Rebentação |
| [m] | [-] | [m] | [m] | [m] | |
| 1 | 0.0070 | 0.89 | 0.78 | 0.78 | Zona de Rebentação |
| 2 | 0.0140 | 1.78 | 1.56 | 1.56 | Zona de Rebentação |
| 3 | 0.0210 | 2.65 | 2.34 | 2.34 | Zona de Rebentação |
| 4 | 0.0278 | 3.52 | 3.12 | 3.12 | Zona de Rebentação |
| 5 | 0.0345 | 4.37 | 3.90 | 3.9 | Zona de Rebentação |
| 6 | 0.0411 | 5.19 | 4.68 | 4.68 | Zona de Rebentação |
| 7 | 0.0474 | 6.00 | 5.46 | 5.46 | Zona de Rebentação |
| 8 | 0.0536 | 6.77 | 6.24 | 6.24 | Zona de Rebentação |
| 9 | 0.0595 | 7.52 | 7.02 | 7.02 | Zona de Rebentação |
| 10 | 0.0652 | 8.24 | 7.80 | 7.8 | Zona de Rebentação |
| 11 | 0.0706 | 8.93 | 8.58 | 8.5 | Ok |
| 12 | 0.0758 | 9.58 | 9.36 | 8.5 | Ok |
| 13 | 0.0807 | 10.20 | 10.14 | 8.5 | Ok |
| 14 | 0.0853 | 10.79 | 10.92 | 8.5 | Ok |
| 15 | 0.0897 | 11.34 | 11.70 | 8.5 | Ok |

**Dimensionamento de anéis de betão**

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CD | 2 | | $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | | e | 5 | [m] |
| CM | 2 | | $\gamma_{betão}$ | 25 | [kN/m$^3$] | | Ø' | 30 | [$^o$] |
| CL | 1 | | $\gamma_{PEAD}$ | 8.829 | [kN/m$^3$] | | F.S. | 1.5 | [-] |
| | | | $W_{u.c.}$ | 0.140283 | [kg/m] | | kN/m | | |

**Cenário 1 - Solução optimizada, Todos os anéis diferentes**

| $\triangle$Z | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [m$^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5254 | 2.06 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 4999 | 1.96 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 4743 | 1.86 |

**Cenário 2 - Todos os anéis iguais**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 5505 | 2.16 |

**Cenário 3 - Blocos diferentes em intervalos de 100m**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 4999 | 1.96 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 4999 | 1.96 |

**Cenário 4 - Apenas 2 tipos de anéis**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5254 | 2.06 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5254 | 2.06 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 5254 | 2.06 |

## Comparação de Resultados

| Cenário | $\sum N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | |
|---|---|---|---|
| [-] | [-] | [$m^3$] | Descrição |
| 1 | 18.80053 | 38 | *Todos os anéis diferentes* |
| 2 | 18.80053 | 41 | *Todos os anéis iguais* |
| 3 | 18.80053 | 39 | *Aneis iguais em intervalos de 100m* |
| 4 | 18.80053 | 40 | *Apenas 2 tipos de anel* |

## Anéis de Afundamento - Zona de Rebetanção

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel | $V_{betão}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] | [$m^3$] |
| 0-1 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 1-2 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 2-3 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 3-4 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 4-5 | 0 | 0 | 6.4 | 258 | 0.10 | 0.65 |
| 5-6 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 6-7 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 7-8 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 8-9 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 9-10 | 0 | 0 | 2.6 | 258 | 0.10 | 0.27 |

| | | |
|---|---|---|
| $\sum N_{anéis}$ | 45.3 | |
| $\sum N_{anéis}$ | 38.9 | |

| | | |
|---|---|---|
| $V_{total\ betão}$ | 4.59 | [$m^3$] |
| $V_{total\ betão}$ | 3.94 | [$m^3$] |

## Zona de Rebentação - Proteção de Enrocamento

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_{design}$ | 15 | [s] | *Período de Projeto* |
| S | 2 | [-] | *Nível de estragos admissível* |
| $\gamma_{material}$ | 29 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico dos Blocos* |
| $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $N_{PMAV}$ | 2.9 | [m] | *Nível de Água em Preia Mar* |
| tg $\theta$ | 0.5 | [-] | *Inclinação dos Taludes* |

Proteção de Enrocamento

| $Z_{fundo}$ | $N_{PMAV}$ | $Z_{coroamento}$ | $h_c$ | d | $H_{des}$ | $D_{n50}$ | $W_{van\ der\ Meer}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kN] | [kg] |
| 0 | 2.9 | 2.6 | 2.6 | 2.9 | 0.78 | 0.26 | 0.5 | 52.3 |
| -1 | 2.9 | 1.6 | 2.6 | 3.9 | 1.56 | 0.39 | 1.7 | 177.9 |
| -2 | 2.9 | 0.6 | 2.6 | 4.9 | 2.34 | 0.49 | 3.5 | 355.2 |
| -3 | 2.9 | -0.4 | 2.6 | 5.9 | 3.12 | 0.58 | 5.7 | 582.6 |
| -4 | 2.9 | -1.4 | 2.6 | 6.9 | 3.9 | 0.66 | 8.4 | 861.1 |
| -5 | 2.9 | -2.4 | 2.6 | 7.9 | 4.68 | 0.74 | 11.7 | 1192.1 |
| -6 | 2.9 | -3.4 | 2.6 | 8.9 | 5.46 | 0.81 | 15.5 | 1577.2 |
| -7 | 2.9 | -4.4 | 2.6 | 9.9 | 6.24 | 0.88 | 19.8 | 2017.9 |
| -8 | 2.9 | -5.4 | 2.6 | 10.9 | 7.02 | 0.95 | 24.7 | 2515.7 |
| -9 | 2.9 | -6.4 | 2.6 | 11.9 | 7.8 | 1.01 | 30.1 | 3072.2 |
| -10 | 2.9 | -7.4 | 2.6 | 12.9 | 8.58 | 1.08 | 36.2 | 3688.8 |

Escalonamento

Câmara de Lobos - Proteção de Enrocamento

| $\Delta Z$ | $\Sigma L$ | Trecho | $h_c$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 10.5 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 1-2 | 20.9 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 2-3 | 31.4 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 3-4 | 41.8 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 4-5 | 52.3 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 5-6 | 66.7 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 6-7 | 81.2 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 7-8 | 95.6 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 8-9 | 110.1 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 9-10 | 124.6 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |

| Varíaveis | | |
|---|---|---|
| $T_R$ | [anos] | *Tempo de retorno* |
| $H_{máx}$ | [m] | *Altura máxima de onda* |
| T | [s] | *Período de Onda* |
| L | [m] | *Comprimento de Onda* |
| $(H/L)_{máx}$ | [-] | *Declividade máxima de Miche* |
| $H_{design}$ | [m] | *Altura de Onda de Dimensionamento* |
| $C_D$ | [-] | *Coeficiente de Resistência* |
| $C_M$ | [-] | *Coeficiente de Inércia* |
| $C_L$ | [-] | *Coeficiente de Sustentação* |
| $\gamma_{mar}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $\gamma_{betão}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico do Betão* |
| $\gamma_{PEAD}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da conduta de PEAD* |
| $W_{u.c.}$ | [kg/m] | *Massa Unitária da conduta de PEAD* |
| e | [m] | *Espaçamento entre Anéis* |
| Ø' | [°] | *Ângulo de Atrito da Interface Anel de Betão - Fundo Marítimo* |
| F.S. | [-] | *Fator de Segurança* |
| $F_H$ | [N/m] | *Força Horizontal unitária* |
| $F_V$ | [N/m] | *Força Vertical Unitária* |
| $N_{anéis}$ | [-] | *Número de Anéis de Betão* |
| $W_{anel}$ | [kg] | *Massa de um Anel de Betão* |
| $Z_{fundo}$ | [m] | *Cota do Fundo* |
| $N_{PMAV}$ | [m] | *Nível de água em Preia-Mar* |
| $Z_{coroamento}$ | [m] | *Cota do Coroamento* |
| $h_c$ | [m] | *Altura da Proteção de Enrocamento* |
| d | [m] | *Profundidade* |
| $W_{núcleo}$ | [kg] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Núcleo* |
| $W_{M.R.}$ | [t] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Manto Resistente* |
| $D_{n50}$ | [m] | *Dimensão Média dos Blocos* |

| | |
|---|---|
| ***Projeto:*** | **Emissário Submarino de Câmara de Lobos - Solução D** |
| ***Instituição:*** | **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto** |
| ***Data:*** | **Maio/2014** |

U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Características do projeto**

**Caudal de Projeto** 0.12222 [$m^3/s$]

**Dados Geométricos**

**Emissário**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| *Material* | Polietileno de alta densidade | | | |
| *Diâmetro* | 400 | [mm] | | |
| *Troço Marítimo* | 339.78 | [m] | *Troço Terrestre* | 40 [m] |

**Difusor**

| | | |
|---|---|---|
| *Profundidade Máxima* | 20 | [m] |
| *Comprimento* | 40 | [m] |
| *Número de risers* | 4 | [m] |

**Dimensionamento Hidráulico**

**Emissário**

| | | | | Perdas de carga | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{exu}$ | $Q_{desc}$ | $U_{desc}$ | $L_{exu}$ | $\Delta H_{cont}$ | $\Delta H_{cc}$ | $\Delta H_{total\ exu}$ |
| [mm] | [L/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 400 | 122 | 0.973 | 379.78 | 1.50 | 0.02 | 1.52 |

**Cota Piezométrica - ETAR**

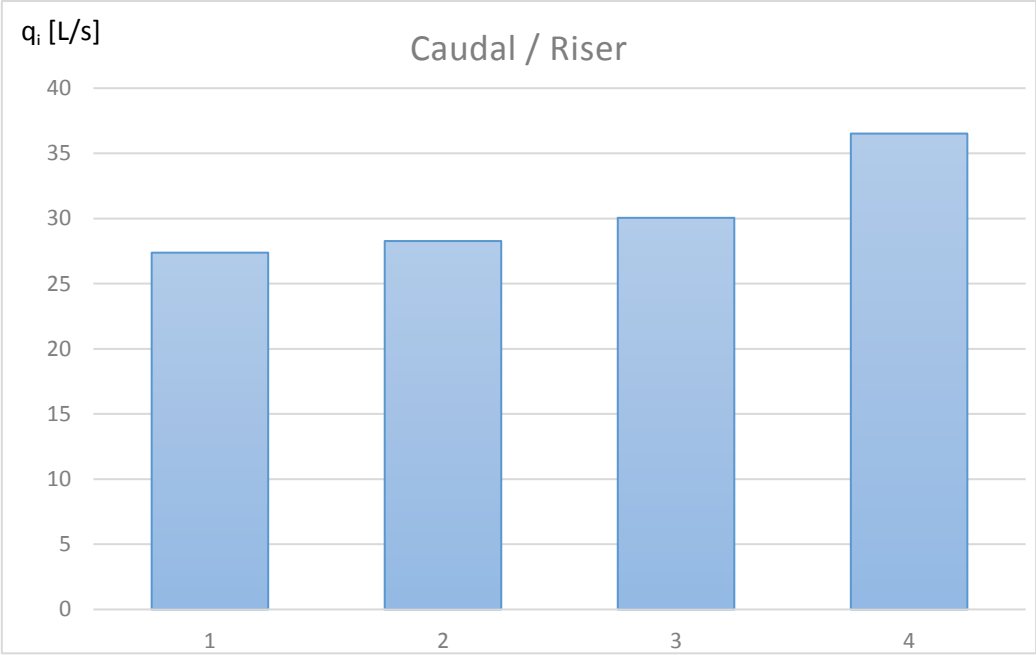
| | | |
|---|---|---|
| Cota piezométrica mínima na ETAR | 4.8 | [m] ao ZH! |
| *(se não for possível garantir a cota mencionada o sistema não pode funcionar graviticamente)* | | |

| | |
|---|---|
| $D_{exu}$ | *Diâmetro do exutor;* |
| $Q_{desc}$ | *Caudal descarregado;* |
| $U_{desc}$ | *Velocidade média de escoamento;* |
| $\Delta H_{cont}$ | *Perda de carga contínua;* |
| $\Delta H_{CC}$ | *Perda de carga localizada à saida da câmara de carga* |
| $\Delta H_{total\ exu}$ | *Perda de carga global no exutor* |

**Comportamento Hidráulico**

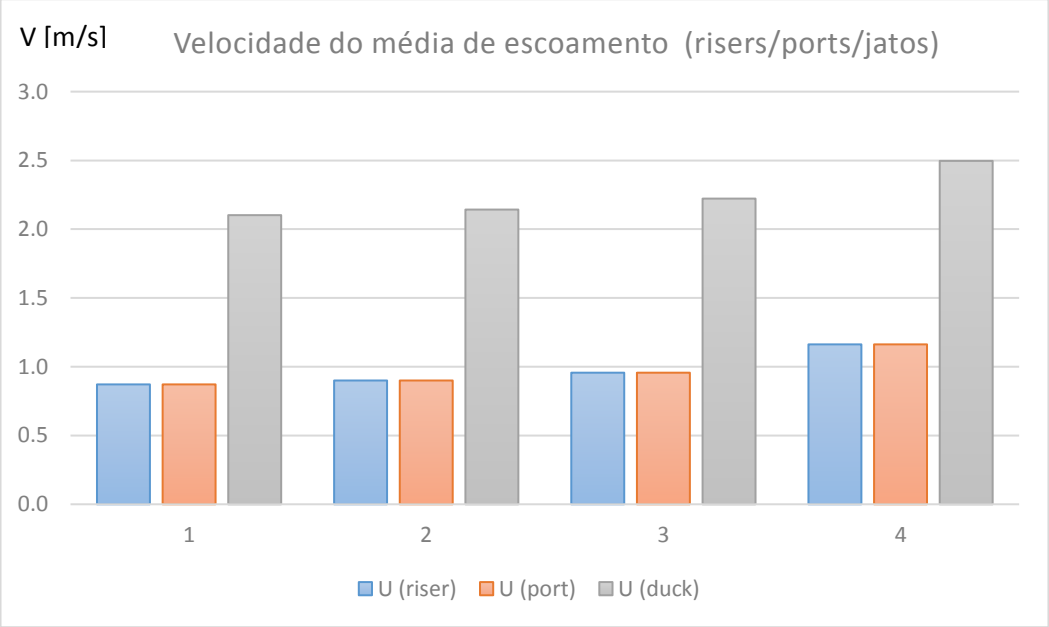
**Difusor**

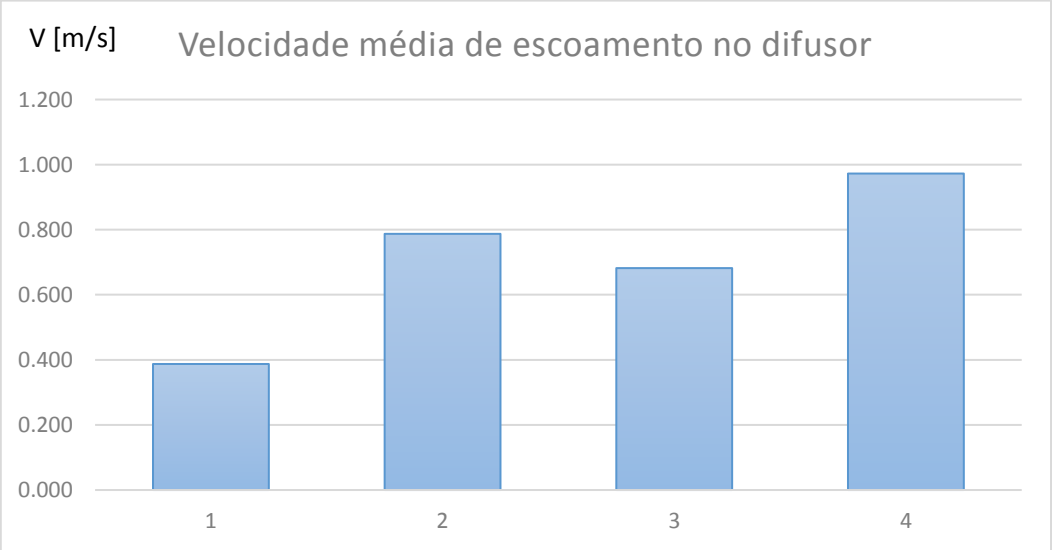
| Riser | q | P | $P/\gamma_{MAR}$ | $U_{dif}$ | $U_{riser}$ | $U_{port}$ | $U_{duck}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [L/s] | [kPa] | [m] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m/s] |
| 1 | 27.38 | 226.26 | 22.55 | 0.387 | 0.871 | 0.871 | 2.102 |
| 2 | 28.27 | 221.61 | 22.08 | 0.787 | 0.900 | 0.900 | 2.143 |
| 3 | 30.05 | 217.58 | 21.68 | 0.682 | 0.957 | 0.957 | 2.222 |
| 4 | 36.52 | 213.78 | 21.30 | 0.973 | 1.162 | 1.162 | 2.496 |
| $\sum$ | 122.22 | | | | | | |




| | |
|---|---|
| q | *Caudal descarregado em cada riser* |
| P | *Pressão relativa (eixo do difusor)* |
| $U_{dif}$ | *Velocidade média de escoamento - Difusor* |
| $U_{riser}$ | *Velocidade média de escoamento - Riser* |
| $U_{port}$ | *Velocidade média de escoamento - Porta* |
| $U_{duck}$ | *Velocidade média de escoamento - Válvula "Duckill"* |


p [kPa]
Pressão interna ao longo do difusor
228
226
224
222
220
218
216
214
212
210
208
206
1
2
3
4


V [m/s]
Velocidade do média de escoamento (risers/ports/jatos)
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
1
2
3
4
U (riser)
U (port)
U (duck)


V [m/s]
Velocidade média de escoamento no difusor
1.200
1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
1
2
3
4

**Intrusão salina (durante a descarga)**

| Riser | qi | ui (jato) | Dp,i | Fr | Intrusão |
|---|---|---|---|---|---|
| | [l/s] | [m/s] | [m] | [-] | |
| 1 | 27.4 | 2.10 | 0.2 | 9.5 | Ok! |
| 2 | 28.3 | 2.14 | 0.2 | 9.7 | Ok! |
| 3 | 30.1 | 2.22 | 0.2 | 10.0 | Ok! |
| 4 | 36.5 | 2.50 | 0.2 | 11.3 | Ok! |

Não existem problemas de intrusão salina

**Eficiência Ambiental**

**Diluição / Dispersão / Die-off**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $D_i$ | 1313.077 | [-] | *Diluição inicial* |
| $D_h$ | 1.202085 | [-] | *Dispersão horizontal* |
| $D_b$ | 1.635003 | [-] | *Die-Off* |

| **Descarga** | | | | **Costa** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{totais}$ | 1.00E+07 | [un/100ml] | → | $C_{totais}$ | 3874.8592 | [un/100ml] |
| $C_{fecais}$ | 1.00E+06 | [un/100ml] | → | $C_{fecais}$ | 387.48592 | [un/100ml] |

**Dimensionamento Estrutural**

**Características da agitação marítima**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_R$ | 100 | [anos] | *Período de Retorno* |
| $H_{des}$ | 8.5 | [m] | *Altura de Onda de Projeto* |
| $T_{des}$ | 9 | [s] | *Período de Projeto* |
| $L_0$ | 126 | [m] | *Comprimento de Onda* |

| Zona de Rebentação | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Batimétrica | $(H/L_0)_{MÁX}$ | $H_{MÁXMiche}$ | 0.78*d | $H_{design}$ | Rebentação |
| [m] | [-] | [m] | [m] | [m] | |
| 1 | 0.0070 | 0.89 | 0.78 | 0.78 | Zona de Rebentação |
| 2 | 0.0140 | 1.78 | 1.56 | 1.56 | Zona de Rebentação |
| 3 | 0.0210 | 2.65 | 2.34 | 2.34 | Zona de Rebentação |
| 4 | 0.0278 | 3.52 | 3.12 | 3.12 | Zona de Rebentação |
| 5 | 0.0345 | 4.37 | 3.90 | 3.9 | Zona de Rebentação |
| 6 | 0.0411 | 5.19 | 4.68 | 4.68 | Zona de Rebentação |
| 7 | 0.0474 | 6.00 | 5.46 | 5.46 | Zona de Rebentação |
| 8 | 0.0536 | 6.77 | 6.24 | 6.24 | Zona de Rebentação |
| 9 | 0.0595 | 7.52 | 7.02 | 7.02 | Zona de Rebentação |
| 10 | 0.0652 | 8.24 | 7.80 | 7.8 | Zona de Rebentação |
| 11 | 0.0706 | 8.93 | 8.58 | 8.5 | Ok |
| 12 | 0.0758 | 9.58 | 9.36 | 8.5 | Ok |
| 13 | 0.0807 | 10.20 | 10.14 | 8.5 | Ok |
| 14 | 0.0853 | 10.79 | 10.92 | 8.5 | Ok |
| 15 | 0.0897 | 11.34 | 11.70 | 8.5 | Ok |
| 16 | 0.0938 | 11.86 | 12.48 | 8.5 | Ok |
| 17 | 0.0976 | 12.34 | 13.26 | 8.5 | Ok |
| 18 | 0.1012 | 12.80 | 14.04 | 8.5 | Ok |
| 19 | 0.1045 | 13.22 | 14.82 | 8.5 | Ok |
| 20 | 0.1076 | 13.61 | 15.60 | 8.5 | Ok |

| Dimensionamento de anéis de betão | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CD | 2 | | $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | | e | 5 | [m] |
| CM | 2 | | $\gamma_{betão}$ | 25 | [kN/m$^3$] | | Ø' | 30 | [$^o$] |
| CL | 1 | | $\gamma_{PEAD}$ | 8.829 | [kN/m$^3$] | | F.S. | 1.5 | [-] |
| | | | $W_{u.c.}$ | 0.226611 | [kg/m] | | | | |

**Cenário 1 - Solução optimizada, Todos os anéis diferentes**

| $\triangle$Z | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [m$^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5362 | 2.10 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 4851 | 1.90 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 4 | 4596 | 1.80 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 4 | 4348 | 1.71 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 4 | 4110 | 1.61 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 4 | 3878 | 1.52 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 4 | 3653 | 1.43 |

**Cenário 2 - Todos os anéis iguais**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 4 | 5614 | 2.20 |

**Cenário 3 - Blocos diferentes em intervalos de 100m**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 4 | 3878 | 1.52 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 4 | 3878 | 1.52 |

**Cenário 4 - Apenas 2 tipos de anéis**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 4851 | 1.90 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 4 | 4851 | 1.90 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 4 | 4851 | 1.90 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 4 | 4851 | 1.90 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 4 | 4851 | 1.90 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 4 | 4851 | 1.90 |

## Comparação de Resultados

| Cenário | $\sum N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | |
|---|---|---|---|
| [-] | [-] | [$m^3$] | Descrição |
| 1 | 43.04369 | 80 | *Todos os anéis diferentes* |
| 2 | 43.04369 | 95 | *Todos os anéis iguais* |
| 3 | 43.04369 | 85 | *Aneis iguais em intervalos de 100m* |
| 4 | 43.04369 | 87 | *Apenas 2 tipos de anel* |

## Anéis de Afundamento - Zona de Rebetanção

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel | $V_{betão}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] | [$m^3$] |
| 0-1 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 1-2 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 2-3 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 3-4 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 4-5 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 5-6 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |
| 6-7 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |
| 7-8 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |
| 8-9 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |
| 9-10 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $\sum N_{anéis}$ | 24.9 | $V_{total\ betão}$ | 4.08 | [$m^3$] |

## Zona de Rebentação - Proteção de Enrocamento

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_{design}$ | 15 | [s] | *Período de Projeto* |
| S | 2 | [-] | *Nível de estragos admissível* |
| $\gamma_{material}$ | 29 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico dos Blocos* |
| $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $N_{PMAV}$ | 2.9 | [m] | *Nível de Água em Preia Mar* |
| tg $\theta$ | 0.5 | [-] | *Inclinação dos Taludes* |

Proteção de Enrocamento

| $Z_{fundo}$ | $N_{PMAV}$ | $Z_{coroamento}$ | $h_c$ | d | $H_{des}$ | $D_{n50}$ | $W_{van\ der\ Meer}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kN] | [kg] |
| 0 | 2.9 | 2.6 | 2.6 | 2.9 | 0.78 | 0.26 | 0.5 | 52.3 |
| -1 | 2.9 | 1.6 | 2.6 | 3.9 | 1.56 | 0.39 | 1.7 | 177.9 |
| -2 | 2.9 | 0.6 | 2.6 | 4.9 | 2.34 | 0.49 | 3.5 | 355.2 |
| -3 | 2.9 | -0.4 | 2.6 | 5.9 | 3.12 | 0.58 | 5.7 | 582.6 |
| -4 | 2.9 | -1.4 | 2.6 | 6.9 | 3.9 | 0.66 | 8.4 | 861.1 |
| -5 | 2.9 | -2.4 | 2.6 | 7.9 | 4.68 | 0.74 | 11.7 | 1192.1 |
| -6 | 2.9 | -3.4 | 2.6 | 8.9 | 5.46 | 0.81 | 15.5 | 1577.2 |
| -7 | 2.9 | -4.4 | 2.6 | 9.9 | 6.24 | 0.88 | 19.8 | 2017.9 |
| -8 | 2.9 | -5.4 | 2.6 | 10.9 | 7.02 | 0.95 | 24.7 | 2515.7 |
| -9 | 2.9 | -6.4 | 2.6 | 11.9 | 7.8 | 1.01 | 30.1 | 3072.2 |
| -10 | 2.9 | -7.4 | 2.6 | 12.9 | 8.58 | 1.08 | 36.2 | 3688.8 |

Escalonamento

Câmara de Lobos - Proteção de Enrocamento

| $\Delta Z$ | $\Sigma L$ | Trecho | $h_c$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 10.5 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 1-2 | 20.9 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 2-3 | 31.4 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 3-4 | 41.8 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 4-5 | 52.3 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 5-6 | 66.7 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 6-7 | 81.2 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 7-8 | 95.6 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 8-9 | 110.1 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 9-10 | 124.6 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |

| Varíaveis | | |
|---|---|---|
| $T_R$ | [anos] | *Tempo de retorno* |
| $H_{máx}$ | [m] | *Altura máxima de onda* |
| T | [s] | *Período de Onda* |
| L | [m] | *Comprimento de Onda* |
| $(H/L)_{máx}$ | [-] | *Declividade máxima de Miche* |
| $H_{design}$ | [m] | *Altura de Onda de Dimensionamento* |
| $C_D$ | [-] | *Coeficiente de Resistência* |
| $C_M$ | [-] | *Coeficiente de Inércia* |
| $C_L$ | [-] | *Coeficiente de Sustentação* |
| $\gamma_{mar}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $\gamma_{betão}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico do Betão* |
| $\gamma_{PEAD}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da conduta de PEAD* |
| $W_{u.c.}$ | [kg/m] | *Massa Unitária da conduta de PEAD* |
| e | [m] | *Espaçamento entre Anéis* |
| Ø' | [°] | *Ângulo de Atrito da Interface Anel de Betão - Fundo Marítimo* |
| F.S. | [-] | *Fator de Segurança* |
| $F_H$ | [N/m] | *Força Horizontal unitária* |
| $F_V$ | [N/m] | *Força Vertical Unitária* |
| $N_{anéis}$ | [-] | *Número de Anéis de Betão* |
| $W_{anel}$ | [kg] | *Massa de um Anel de Betão* |
| $Z_{fundo}$ | [m] | *Cota do Fundo* |
| $N_{PMAV}$ | [m] | *Nível de água em Preia-Mar* |
| $Z_{coroamento}$ | [m] | *Cota do Coroamento* |
| $h_c$ | [m] | *Altura da Proteção de Enrocamento* |
| d | [m] | *Profundidade* |
| $W_{núcleo}$ | [kg] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Núcleo* |
| $W_{M.R.}$ | [t] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Manto Resistente* |
| $D_{n50}$ | [m] | *Dimensão Média dos Blocos* |

| | |
|---|---|
| ***Projeto:*** | **Emissário Submarino de Câmara de Lobos - Solução E** |
| ***Instituição:*** | **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto** |
| ***Data:*** | **Maio/2014** |

U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Características do projeto**

**Caudal de Projeto** 0.12222 [$m^3/s$]

**Dados Geométricos**

**Emissário**

*Material* Polietileno de alta densidade

*Diâmetro* 400 [mm]

*Troço Marítimo* 426.34 [m] *Troço Terrestre* 40 [m]

**Difusor**

*Profundidade Máxima* 25 [m]

*Comprimento* 40 [m]

*Número de risers* 4 [m]

**Dimensionamento Hidráulico**

**Emissário**

| | | | | Perdas de carga | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{exu}$ | $Q_{desc}$ | $U_{desc}$ | $L_{exu}$ | $\Delta H_{cont}$ | $\Delta H_{cc}$ | $\Delta H_{total\ exu}$ |
| [mm] | [L/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 400 | 122 | 0.973 | 466.34 | 1.84 | 0.02 | 1.87 |

**Cota Piezométrica - ETAR**

| | | |
|---|---|---|
| Cota piezométrica mínima na ETAR | 5.3 | [m] ao ZH! |
| *(se não for possível garantir a cota mencionada o sistema não pode funcionar graviticamente)* | | |

$D_{exu}$ *Diâmetro do exutor;*

$Q_{desc}$ *Caudal descarregado;*

$U_{desc}$ *Velocidade média de escoamento;*

$\Delta H_{cont}$ *Perda de carga contínua;*

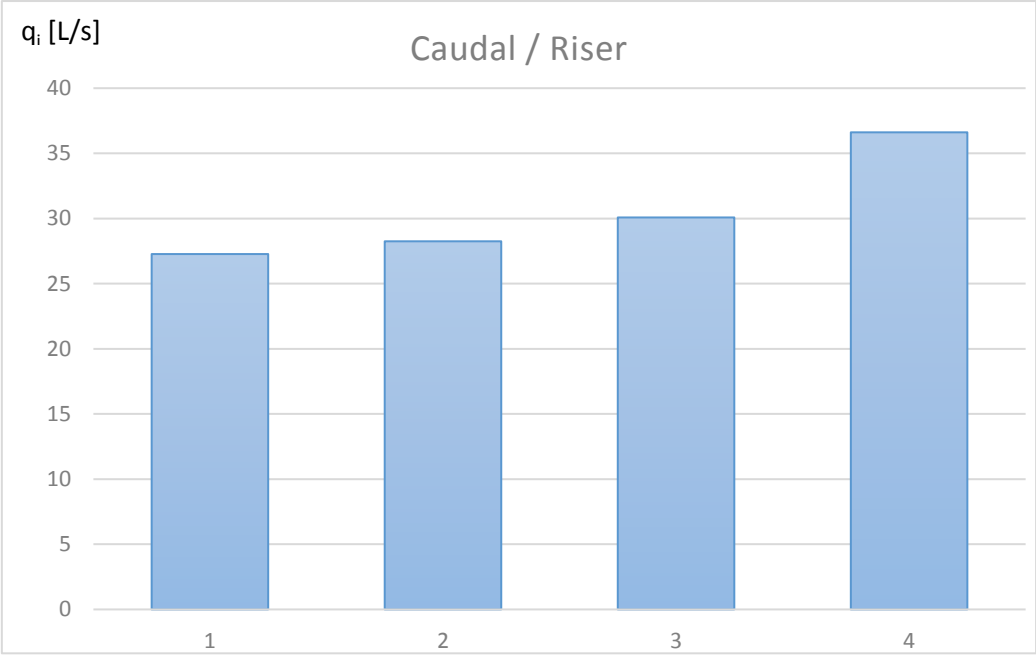
$\Delta H_{CC}$ *Perda de carga localizada à saida da câmara de carga*

$\Delta H_{total\ exu}$ *Perda de carga global no exutor*

**Comportamento Hidráulico**

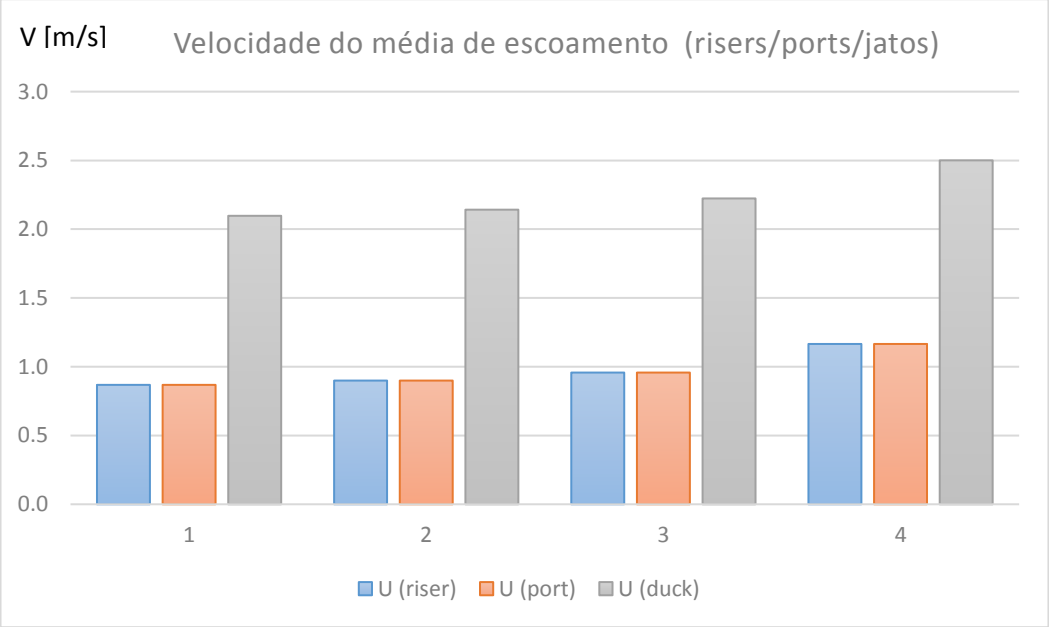
**Difusor**

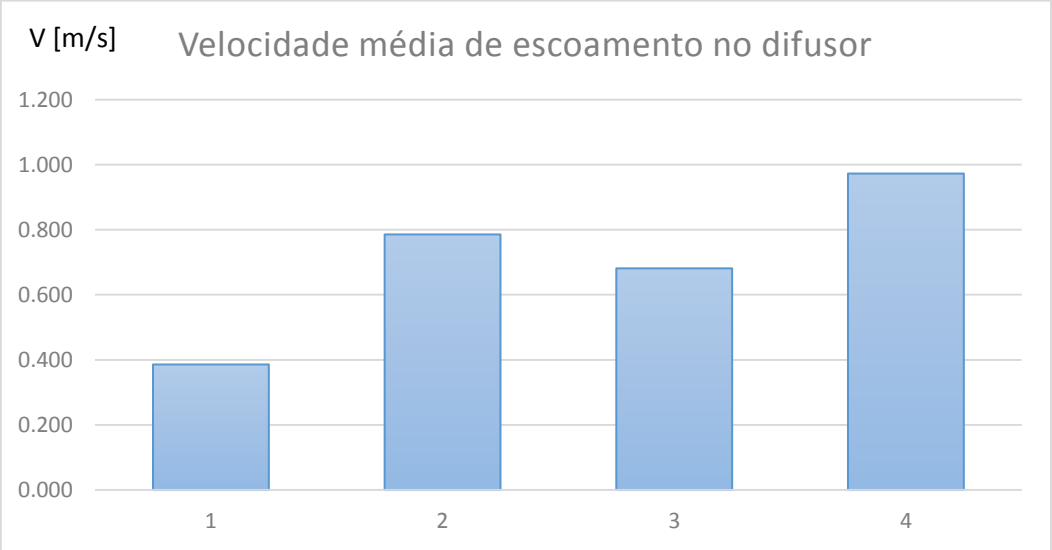
| Riser | q | P | $P/\gamma_{MAR}$ | $U_{dif}$ | $U_{riser}$ | $U_{port}$ | $U_{duck}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [L/s] | [kPa] | [m] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m/s] |
| 1 | 27.27 | 276.41 | 27.54 | 0.386 | 0.868 | 0.868 | 2.097 |
| 2 | 28.25 | 270.65 | 26.97 | 0.786 | 0.899 | 0.899 | 2.142 |
| 3 | 30.08 | 265.51 | 26.46 | 0.681 | 0.958 | 0.958 | 2.224 |
| 4 | 36.61 | 260.60 | 25.97 | 0.973 | 1.165 | 1.165 | 2.500 |
| $\sum$ | 122.22 | | | | | | |




| | |
|---|---|
| q | *Caudal descarregado em cada riser* |
| P | *Pressão relativa (eixo do difusor)* |
| $U_{dif}$ | *Velocidade média de escoamento - Difusor* |
| $U_{riser}$ | *Velocidade média de escoamento - Riser* |
| $U_{port}$ | *Velocidade média de escoamento - Porta* |
| $U_{duck}$ | *Velocidade média de escoamento - Válvula "Duckill"* |


p [kPa]
Pressão interna ao longo do difusor
280
275
270
265
260
255
250
1
2
3
4


V [m/s]
Velocidade do média de escoamento (risers/ports/jatos)
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
1
2
3
4
U (riser)
U (port)
U (duck)


V [m/s]
Velocidade média de escoamento no difusor
1.200
1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
1
2
3
4

**Intrusão salina (durante a descarga)**

| Riser | qi | ui (jato) | Dp,i | Fr | Intrusão |
|---|---|---|---|---|---|
| | [l/s] | [m/s] | [m] | [-] | |
| 1 | 27.3 | 2.10 | 0.2 | 9.5 | Ok! |
| 2 | 28.3 | 2.14 | 0.2 | 9.7 | Ok! |
| 3 | 30.1 | 2.22 | 0.2 | 10.0 | Ok! |
| 4 | 36.6 | 2.50 | 0.2 | 11.3 | Ok! |

Não existem problemas de intrusão salina

**Eficiência Ambiental**

**Diluição / Dispersão / Die-off**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $D_i$ | 1642.008 | [-] | *Diluição inicial* |
| $D_h$ | 1.279639 | [-] | *Dispersão horizontal* |
| $D_b$ | 1.884391 | [-] | *Die-Off* |

| **Descarga** | | | | **Costa** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{totais}$ | 1.00E+07 | [un/100ml] | → | $C_{totais}$ | 2525.6096 | [un/100ml] |
| $C_{fecais}$ | 1.00E+06 | [un/100ml] | → | $C_{fecais}$ | 252.56096 | [un/100ml] |

**Dimensionamento Estrutural**

**Características da agitação marítima**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_R$ | 100 | [anos] | *Período de Retorno* |
| $H_{des}$ | 8.5 | [m] | *Altura de Onda de Projeto* |
| $T_{des}$ | 9 | [s] | *Período de Projeto* |
| $L_0$ | 126 | [m] | *Comprimento de Onda* |

| Zona de Rebentação | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Batimétrica | $(H/L_0)_{MÁX}$ | $H_{MÁXMiche}$ | 0.78*d | $H_{design}$ | Rebentação |
| [m] | [-] | [m] | [m] | [m] | |
| 1 | 0.0070 | 0.89 | 0.78 | 0.78 | Zona de Rebentação |
| 2 | 0.0140 | 1.78 | 1.56 | 1.56 | Zona de Rebentação |
| 3 | 0.0210 | 2.65 | 2.34 | 2.34 | Zona de Rebentação |
| 4 | 0.0278 | 3.52 | 3.12 | 3.12 | Zona de Rebentação |
| 5 | 0.0345 | 4.37 | 3.90 | 3.9 | Zona de Rebentação |
| 6 | 0.0411 | 5.19 | 4.68 | 4.68 | Zona de Rebentação |
| 7 | 0.0474 | 6.00 | 5.46 | 5.46 | Zona de Rebentação |
| 8 | 0.0536 | 6.77 | 6.24 | 6.24 | Zona de Rebentação |
| 9 | 0.0595 | 7.52 | 7.02 | 7.02 | Zona de Rebentação |
| 10 | 0.0652 | 8.24 | 7.80 | 7.8 | Zona de Rebentação |
| 11 | 0.0706 | 8.93 | 8.58 | 8.5 | Ok |
| 12 | 0.0758 | 9.58 | 9.36 | 8.5 | Ok |
| 13 | 0.0807 | 10.20 | 10.14 | 8.5 | Ok |
| 14 | 0.0853 | 10.79 | 10.92 | 8.5 | Ok |
| 15 | 0.0897 | 11.34 | 11.70 | 8.5 | Ok |
| 16 | 0.0938 | 11.86 | 12.48 | 8.5 | Ok |
| 17 | 0.0976 | 12.34 | 13.26 | 8.5 | Ok |
| 18 | 0.1012 | 12.80 | 14.04 | 8.5 | Ok |
| 19 | 0.1045 | 13.22 | 14.82 | 8.5 | Ok |
| 20 | 0.1076 | 13.61 | 15.60 | 8.5 | Ok |
| 21 | 0.1105 | 13.97 | 16.38 | 8.5 | Ok |
| 22 | 0.1132 | 14.31 | 17.16 | 8.5 | Ok |
| 23 | 0.1156 | 14.62 | 17.94 | 8.5 | Ok |
| 24 | 0.1179 | 14.91 | 18.72 | 8.5 | Ok |
| 25 | 0.1200 | 15.17 | 19.50 | 8.5 | Ok |

| Dimensionamento de anéis de betão | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CD | 2 | | $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | | e | 5 | [m] |
| CM | 2 | | $\gamma_{betão}$ | 25 | [kN/m$^3$] | | Ø' | 30 | [$^o$] |
| CL | 1 | | $\gamma_{PEAD}$ | 8.829 | [kN/m$^3$] | | F.S. | 1.5 | [-] |
| | | | $W_{u.c.}$ | 0.226611 | [kg/m] | | kN/m | | |

**Cenário 1 - Solução optimizada, Todos os anéis diferentes**

| $\Delta$Z | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [m$^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5362 | 2.10 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 4851 | 1.90 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 4 | 4596 | 1.80 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 4 | 4348 | 1.71 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 4 | 4110 | 1.61 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 4 | 3878 | 1.52 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 4 | 3653 | 1.43 |
| 20-21 | 1298 | 279 | 3 | 3436 | 1.35 |
| 21-22 | 1213 | 258 | 3 | 3229 | 1.27 |
| 22-23 | 1133 | 239 | 3 | 3031 | 1.19 |
| 23-24 | 1056 | 220 | 3 | 2844 | 1.12 |
| 24-25 | 984 | 203 | 3 | 2666 | 1.05 |

**Cenário 2 - Todos os anéis iguais**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 20-21 | 1298 | 279 | 3 | 5614 | 2.20 |
| 21-22 | 1213 | 258 | 3 | 5614 | 2.20 |
| 22-23 | 1133 | 239 | 3 | 5614 | 2.20 |
| 23-24 | 1056 | 220 | 3 | 5614 | 2.20 |
| 24-25 | 984 | 203 | 3 | 5614 | 2.20 |

**Cenário 3 - Blocos diferentes em intervalos de 100m**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 4 | 3878 | 1.52 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 4 | 3878 | 1.52 |
| 20-21 | 1298 | 279 | 3 | 3878 | 1.52 |
| 21-22 | 1213 | 258 | 3 | 3878 | 1.52 |
| 22-23 | 1133 | 239 | 3 | 3878 | 1.52 |
| 23-24 | 1056 | 220 | 3 | 2844 | 1.12 |
| 24-25 | 984 | 203 | 3 | 2844 | 1.12 |

**Cenário 4 - Apenas 2 tipos de anéis**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 4 | 4348 | 1.71 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 4 | 4348 | 1.71 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 4 | 4348 | 1.71 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 4 | 4348 | 1.71 |
| 20-21 | 1298 | 279 | 3 | 4348 | 1.71 |
| 21-22 | 1213 | 258 | 3 | 4348 | 1.71 |
| 22-23 | 1133 | 239 | 3 | 4348 | 1.71 |
| 23-24 | 1056 | 220 | 3 | 4348 | 1.71 |
| 24-25 | 984 | 203 | 3 | 4348 | 1.71 |

## Comparação de Resultados

| Cenário | $\sum N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | |
|---|---|---|---|
| [-] | [-] | [$m^3$] | Descrição |
| 1 | 60.35671 | 100 | *Todos os anéis diferentes* |
| 2 | 60.35671 | 133 | *Todos os anéis iguais* |
| 3 | 60.35671 | 108 | *Aneis iguais em intervalos de 100m* |
| 4 | 60.35671 | 116 | *Apenas 2 tipos de anel* |

## Anéis de Afundamento - Zona de Rebetanção

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel | $V_{betão}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] | [$m^3$] |
| 0-1 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 1-2 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 2-3 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 3-4 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 4-5 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 5-6 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |
| 6-7 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |
| 7-8 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |
| 8-9 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |
| 9-10 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |

| $\sum N_{anéis}$ | 24.9 |
|---|---|

| $V_{total\ betão}$ | 4.08 | [$m^3$] |
|---|---|---|

**Zona de Rebentação - Proteção de Enrocamento**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_{design}$ | 15 | [s] | *Período de Projeto* |
| S | 2 | [-] | *Nível de estragos admissível* |
| $\gamma_{material}$ | 29 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico dos Blocos* |
| $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $N_{PMAV}$ | 2.9 | [m] | *Nível de Água em Preia Mar* |
| tg $\theta$ | 0.5 | [-] | *Inclinação dos Taludes* |

Proteção de Enrocamento

| $Z_{fundo}$ | $N_{PMAV}$ | $Z_{coroamento}$ | $h_c$ | d | $H_{des}$ | $D_{n50}$ | $W_{van\ der\ Meer}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kN] | [kg] |
| 0 | 2.9 | 2.6 | 2.6 | 2.9 | 0.78 | 0.26 | 0.5 | 52.3 |
| -1 | 2.9 | 1.6 | 2.6 | 3.9 | 1.56 | 0.39 | 1.7 | 177.9 |
| -2 | 2.9 | 0.6 | 2.6 | 4.9 | 2.34 | 0.49 | 3.5 | 355.2 |
| -3 | 2.9 | -0.4 | 2.6 | 5.9 | 3.12 | 0.58 | 5.7 | 582.6 |
| -4 | 2.9 | -1.4 | 2.6 | 6.9 | 3.9 | 0.66 | 8.4 | 861.1 |
| -5 | 2.9 | -2.4 | 2.6 | 7.9 | 4.68 | 0.74 | 11.7 | 1192.1 |
| -6 | 2.9 | -3.4 | 2.6 | 8.9 | 5.46 | 0.81 | 15.5 | 1577.2 |
| -7 | 2.9 | -4.4 | 2.6 | 9.9 | 6.24 | 0.88 | 19.8 | 2017.9 |
| -8 | 2.9 | -5.4 | 2.6 | 10.9 | 7.02 | 0.95 | 24.7 | 2515.7 |
| -9 | 2.9 | -6.4 | 2.6 | 11.9 | 7.8 | 1.01 | 30.1 | 3072.2 |
| -10 | 2.9 | -7.4 | 2.6 | 12.9 | 8.58 | 1.08 | 36.2 | 3688.8 |

Escalonamento

Câmara de Lobos - Proteção de Enrocamento

| $\Delta Z$ | $\Sigma L$ | Trecho | $h_c$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 10.5 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 1-2 | 20.9 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 2-3 | 31.4 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 3-4 | 41.8 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 4-5 | 52.3 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 5-6 | 66.7 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 6-7 | 81.2 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 7-8 | 95.6 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 8-9 | 110.1 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 9-10 | 124.6 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |

| Varíaveis | | |
|---|---|---|
| $T_R$ | [anos] | *Tempo de retorno* |
| $H_{máx}$ | [m] | *Altura máxima de onda* |
| T | [s] | *Período de Onda* |
| L | [m] | *Comprimento de Onda* |
| $(H/L)_{máx}$ | [-] | *Declividade máxima de Miche* |
| $H_{design}$ | [m] | *Altura de Onda de Dimensionamento* |
| $C_D$ | [-] | *Coeficiente de Resistência* |
| $C_M$ | [-] | *Coeficiente de Inércia* |
| $C_L$ | [-] | *Coeficiente de Sustentação* |
| $\gamma_{mar}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $\gamma_{betão}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico do Betão* |
| $\gamma_{PEAD}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da conduta de PEAD* |
| $W_{u.c.}$ | [kg/m] | *Massa Unitária da conduta de PEAD* |
| e | [m] | *Espaçamento entre Anéis* |
| Ø' | [°] | *Ângulo de Atrito da Interface Anel de Betão - Fundo Marítimo* |
| F.S. | [-] | *Fator de Segurança* |
| $F_H$ | [N/m] | *Força Horizontal unitária* |
| $F_V$ | [N/m] | *Força Vertical Unitária* |
| $N_{anéis}$ | [-] | *Número de Anéis de Betão* |
| $W_{anel}$ | [kg] | *Massa de um Anel de Betão* |
| $Z_{fundo}$ | [m] | *Cota do Fundo* |
| $N_{PMAV}$ | [m] | *Nível de água em Preia-Mar* |
| $Z_{coroamento}$ | [m] | *Cota do Coroamento* |
| $h_c$ | [m] | *Altura da Proteção de Enrocamento* |
| d | [m] | *Profundidade* |
| $W_{núcleo}$ | [kg] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Núcleo* |
| $W_{M.R.}$ | [t] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Manto Resistente* |
| $D_{n50}$ | [m] | *Dimensão Média dos Blocos* |

| | |
|---|---|
| ***Projeto:*** | **Emissário Submarino de Câmara de Lobos - Solução F** |
| ***Instituição:*** | **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto** |
| ***Data:*** | **Maio/2014** |

U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Características do projeto**

**Caudal de Projeto** 0.12222 [$m^3/s$]

**Dados Geométricos**

**Emissário**

*Material* Polietileno de alta densidade

*Diâmetro* 300 [mm]

*Troço Marítimo* 339.78 [m] *Troço Terrestre* 40 [m]

**Difusor**

*Profundidade Máxima* 20 [m]

*Comprimento* 40 [m]

*Número de risers* 4 [m]

**Dimensionamento Hidráulico**

**Emissário**

| | | | | Perdas de carga | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{exu}$ | $Q_{desc}$ | $U_{desc}$ | $L_{exu}$ | $\Delta H_{cont}$ | $\Delta H_{cc}$ | $\Delta H_{total\ exu}$ |
| [mm] | [L/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 300 | 122 | 1.729 | 379.78 | 6.91 | 0.08 | 6.99 |

**Cota Piezométrica - ETAR**

| | | |
|---|---|---|
| Cota piezométrica mínima na ETAR | 11.9 | [m] ao ZH! |
| *(se não for possível garantir a cota mencionada o sistema não pode funcionar graviticamente)* | | |

$D_{exu}$ *Diâmetro do exutor;*

$Q_{desc}$ *Caudal descarregado;*

$U_{desc}$ *Velocidade média de escoamento;*

$\Delta H_{cont}$ *Perda de carga contínua;*

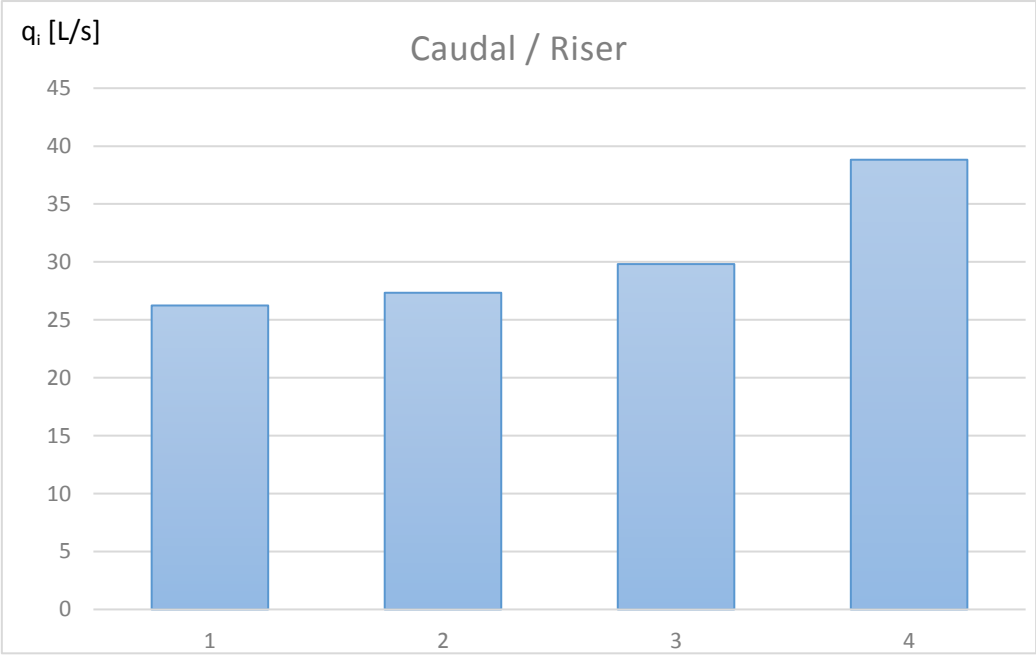
$\Delta H_{CC}$ *Perda de carga localizada à saida da câmara de carga*

$\Delta H_{total\ exu}$ *Perda de carga global no exutor*

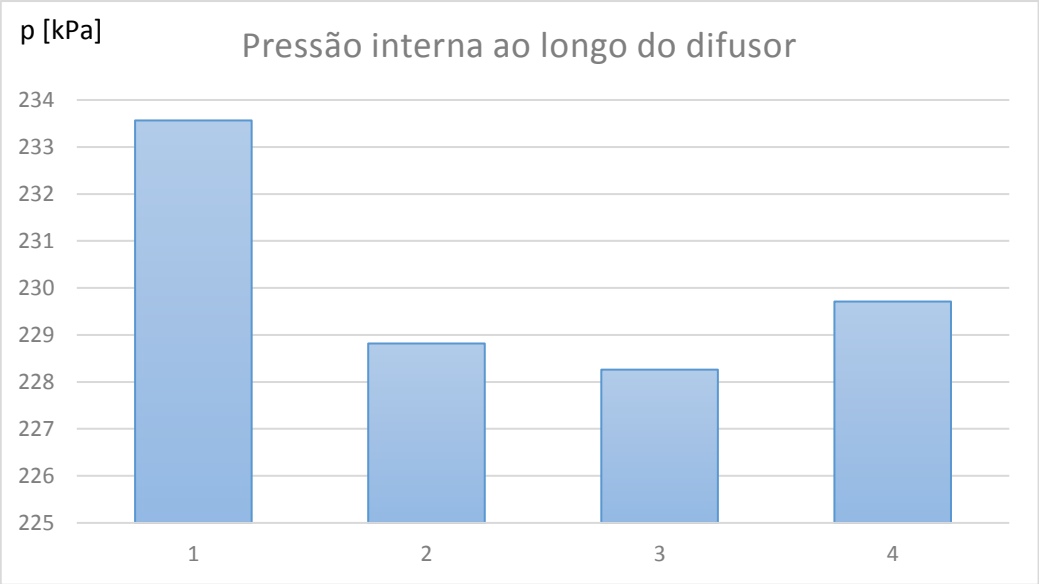
**Comportamento Hidráulico**

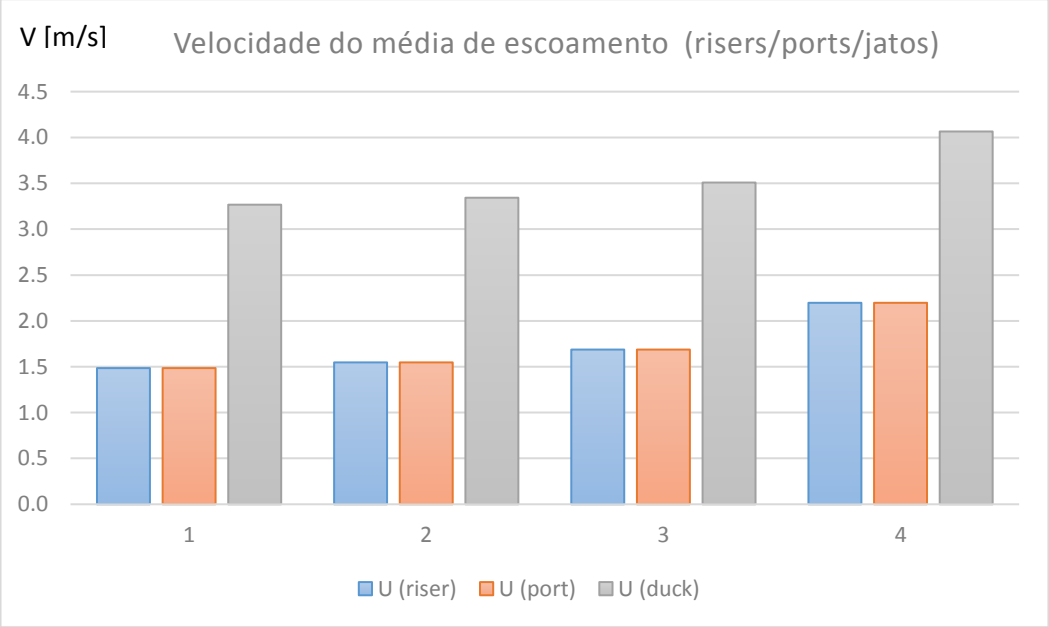
**Difusor**

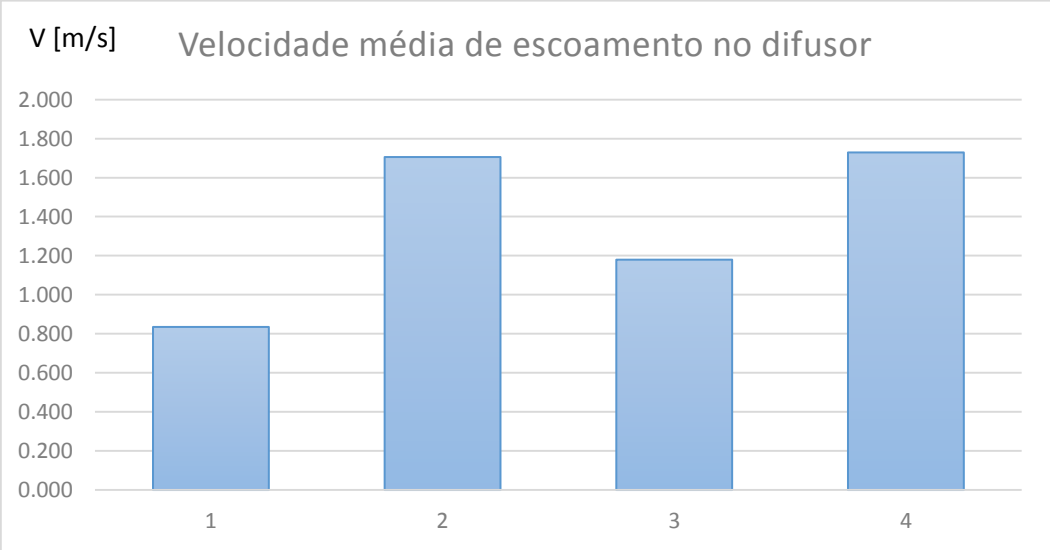
| Riser | q | P | $P/\gamma_{MAR}$ | $U_{dif}$ | $U_{riser}$ | $U_{port}$ | $U_{duck}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [L/s] | [kPa] | [m] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m/s] |
| 1 | 26.24 | 233.57 | 23.27 | 0.835 | 1.485 | 1.485 | 3.267 |
| 2 | 27.34 | 228.82 | 22.80 | 1.706 | 1.547 | 1.547 | 3.343 |
| 3 | 29.81 | 228.26 | 22.75 | 1.180 | 1.687 | 1.687 | 3.508 |
| 4 | 38.83 | 229.71 | 22.89 | 1.729 | 2.197 | 2.197 | 4.065 |
| $\sum$ | 122.22 | | | | | | |




| | |
|---|---|
| q | *Caudal descarregado em cada riser* |
| P | *Pressão relativa (eixo do difusor)* |
| $U_{dif}$ | *Velocidade média de escoamento - Difusor* |
| $U_{riser}$ | *Velocidade média de escoamento - Riser* |
| $U_{port}$ | *Velocidade média de escoamento - Porta* |
| $U_{duck}$ | *Velocidade média de escoamento - Válvula "Duckill"* |


p [kPa]
Pressão interna ao longo do difusor
234
233
232
231
230
229
228
227
226
225
1
2
3
4


V [m/s]
Velocidade do média de escoamento (risers/ports/jatos)
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
1
2
3
4
U (riser)
U (port)
U (duck)


V [m/s]
Velocidade média de escoamento no difusor
2.000
1.800
1.600
1.400
1.200
1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
1
2
3
4

**Intrusão salina (durante a descarga)**

| Riser | qi | ui (jato) | Dp,i | Fr | Intrusão |
|---|---|---|---|---|---|
| | [l/s] | [m/s] | [m] | [-] | |
| 1 | 26.2 | 3.27 | 0.15 | 17.0 | Ok! |
| 2 | 27.3 | 3.34 | 0.15 | 17.4 | Ok! |
| 3 | 29.8 | 3.51 | 0.15 | 18.3 | Ok! |
| 4 | 38.8 | 4.07 | 0.15 | 21.2 | Ok! |

Não existem problemas de intrusão salina

**Eficiência Ambiental**

**Diluição / Dispersão / Die-off**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $D_i$ | 1313.077 | [-] | *Diluição inicial* |
| $D_h$ | 1.202085 | [-] | *Dispersão horizontal* |
| $D_b$ | 1.635003 | [-] | *Die-Off* |

| **Descarga** | | | | **Costa** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{totais}$ | 1.00E+07 | [un/100ml] | → | $C_{totais}$ | 3874.8592 | [un/100ml] |
| $C_{fecais}$ | 1.00E+06 | [un/100ml] | → | $C_{fecais}$ | 387.48592 | [un/100ml] |

**Dimensionamento Estrutural**

**Características da agitação marítima**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_R$ | 100 | [anos] | *Período de Retorno* |
| $H_{des}$ | 8.5 | [m] | *Altura de Onda de Projeto* |
| $T_{des}$ | 9 | [s] | *Período de Projeto* |
| $L_0$ | 126 | [m] | *Comprimento de Onda* |

| Zona de Rebentação | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Batimétrica | $(H/L_0)_{MÁX}$ | $H_{MÁXMiche}$ | 0.78*d | $H_{design}$ | Rebentação |
| [m] | [-] | [m] | [m] | [m] | |
| 1 | 0.0070 | 0.89 | 0.78 | 0.78 | Zona de Rebentação |
| 2 | 0.0140 | 1.78 | 1.56 | 1.56 | Zona de Rebentação |
| 3 | 0.0210 | 2.65 | 2.34 | 2.34 | Zona de Rebentação |
| 4 | 0.0278 | 3.52 | 3.12 | 3.12 | Zona de Rebentação |
| 5 | 0.0345 | 4.37 | 3.90 | 3.9 | Zona de Rebentação |
| 6 | 0.0411 | 5.19 | 4.68 | 4.68 | Zona de Rebentação |
| 7 | 0.0474 | 6.00 | 5.46 | 5.46 | Zona de Rebentação |
| 8 | 0.0536 | 6.77 | 6.24 | 6.24 | Zona de Rebentação |
| 9 | 0.0595 | 7.52 | 7.02 | 7.02 | Zona de Rebentação |
| 10 | 0.0652 | 8.24 | 7.80 | 7.8 | Zona de Rebentação |
| 11 | 0.0706 | 8.93 | 8.58 | 8.5 | Ok |
| 12 | 0.0758 | 9.58 | 9.36 | 8.5 | Ok |
| 13 | 0.0807 | 10.20 | 10.14 | 8.5 | Ok |
| 14 | 0.0853 | 10.79 | 10.92 | 8.5 | Ok |
| 15 | 0.0897 | 11.34 | 11.70 | 8.5 | Ok |
| 16 | 0.0938 | 11.86 | 12.48 | 8.5 | Ok |
| 17 | 0.0976 | 12.34 | 13.26 | 8.5 | Ok |
| 18 | 0.1012 | 12.80 | 14.04 | 8.5 | Ok |
| 19 | 0.1045 | 13.22 | 14.82 | 8.5 | Ok |
| 20 | 0.1076 | 13.61 | 15.60 | 8.5 | Ok |

| Dimensionamento de anéis de betão | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CD | 2 | | $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | | e | 5 | [m] |
| CM | 2 | | $\gamma_{betão}$ | 25 | [kN/m$^3$] | | Ø' | 30 | [$^o$] |
| CL | 1 | | $\gamma_{PEAD}$ | 8.829 | [kN/m$^3$] | | F.S. | 1.5 | [-] |
| | | | $W_{u.c.}$ | 0.226611 | [kg/m] | | | | |

**Cenário 1 - Solução optimizada, Todos os anéis diferentes**

| $\Delta$Z | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [m$^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5362 | 2.10 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 4851 | 1.90 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 4 | 4596 | 1.80 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 4 | 4348 | 1.71 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 4 | 4110 | 1.61 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 4 | 3878 | 1.52 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 4 | 3653 | 1.43 |

**Cenário 2 - Todos os anéis iguais**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 4 | 5614 | 2.20 |

**Cenário 3 - Blocos diferentes em intervalos de 100m**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 4 | 3878 | 1.52 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 4 | 3878 | 1.52 |

**Cenário 4 - Apenas 2 tipos de anéis**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 4851 | 1.90 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 4 | 4851 | 1.90 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 4 | 4851 | 1.90 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 4 | 4851 | 1.90 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 4 | 4851 | 1.90 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 4 | 4851 | 1.90 |

## Comparação de Resultados

| Cenário | $\sum N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | |
|---|---|---|---|
| [-] | [-] | [$m^3$] | Descrição |
| 1 | 43.04369 | 80 | *Todos os anéis diferentes* |
| 2 | 43.04369 | 95 | *Todos os anéis iguais* |
| 3 | 43.04369 | 85 | *Aneis iguais em intervalos de 100m* |
| 4 | 43.04369 | 87 | *Apenas 2 tipos de anel* |

## Anéis de Afundamento - Zona de Rebetanção

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel | $V_{betão}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] | [$m^3$] |
| 0-1 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 1-2 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 2-3 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 3-4 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 4-5 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 5-6 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |
| 6-7 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |
| 7-8 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |
| 8-9 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |
| 9-10 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $\sum N_{anéis}$ | 24.9 | $V_{total\ betão}$ | 4.08 | [$m^3$] |

## Zona de Rebentação - Proteção de Enrocamento

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_{design}$ | 15 | [s] | *Período de Projeto* |
| S | 2 | [-] | *Nível de estragos admissível* |
| $\gamma_{material}$ | 29 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico dos Blocos* |
| $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $N_{PMAV}$ | 2.9 | [m] | *Nível de Água em Preia Mar* |
| tg $\theta$ | 0.5 | [-] | *Inclinação dos Taludes* |

Proteção de Enrocamento

| $Z_{fundo}$ | $N_{PMAV}$ | $Z_{coroamento}$ | $h_c$ | d | $H_{des}$ | $D_{n50}$ | $W_{van\ der\ Meer}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kN] | [kg] |
| 0 | 2.9 | 2.6 | 2.6 | 2.9 | 0.78 | 0.26 | 0.5 | 52.3 |
| -1 | 2.9 | 1.6 | 2.6 | 3.9 | 1.56 | 0.39 | 1.7 | 177.9 |
| -2 | 2.9 | 0.6 | 2.6 | 4.9 | 2.34 | 0.49 | 3.5 | 355.2 |
| -3 | 2.9 | -0.4 | 2.6 | 5.9 | 3.12 | 0.58 | 5.7 | 582.6 |
| -4 | 2.9 | -1.4 | 2.6 | 6.9 | 3.9 | 0.66 | 8.4 | 861.1 |
| -5 | 2.9 | -2.4 | 2.6 | 7.9 | 4.68 | 0.74 | 11.7 | 1192.1 |
| -6 | 2.9 | -3.4 | 2.6 | 8.9 | 5.46 | 0.81 | 15.5 | 1577.2 |
| -7 | 2.9 | -4.4 | 2.6 | 9.9 | 6.24 | 0.88 | 19.8 | 2017.9 |
| -8 | 2.9 | -5.4 | 2.6 | 10.9 | 7.02 | 0.95 | 24.7 | 2515.7 |
| -9 | 2.9 | -6.4 | 2.6 | 11.9 | 7.8 | 1.01 | 30.1 | 3072.2 |
| -10 | 2.9 | -7.4 | 2.6 | 12.9 | 8.58 | 1.08 | 36.2 | 3688.8 |

Escalonamento

Câmara de Lobos - Proteção de Enrocamento

| $\Delta Z$ | $\Sigma L$ | Trecho | $h_c$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 10.5 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 1-2 | 20.9 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 2-3 | 31.4 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 3-4 | 41.8 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 4-5 | 52.3 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 5-6 | 66.7 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 6-7 | 81.2 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 7-8 | 95.6 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 8-9 | 110.1 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 9-10 | 124.6 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |

| Varíaveis | | |
|---|---|---|
| $T_R$ | [anos] | *Tempo de retorno* |
| $H_{máx}$ | [m] | *Altura máxima de onda* |
| T | [s] | *Período de Onda* |
| L | [m] | *Comprimento de Onda* |
| $(H/L)_{máx}$ | [-] | *Declividade máxima de Miche* |
| $H_{design}$ | [m] | *Altura de Onda de Dimensionamento* |
| $C_D$ | [-] | *Coeficiente de Resistência* |
| $C_M$ | [-] | *Coeficiente de Inércia* |
| $C_L$ | [-] | *Coeficiente de Sustentação* |
| $\gamma_{mar}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $\gamma_{betão}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico do Betão* |
| $\gamma_{PEAD}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da conduta de PEAD* |
| $W_{u.c.}$ | [kg/m] | *Massa Unitária da conduta de PEAD* |
| e | [m] | *Espaçamento entre Anéis* |
| Ø' | [°] | *Ângulo de Atrito da Interface Anel de Betão - Fundo Marítimo* |
| F.S. | [-] | *Fator de Segurança* |
| $F_H$ | [N/m] | *Força Horizontal unitária* |
| $F_V$ | [N/m] | *Força Vertical Unitária* |
| $N_{anéis}$ | [-] | *Número de Anéis de Betão* |
| $W_{anel}$ | [kg] | *Massa de um Anel de Betão* |
| $Z_{fundo}$ | [m] | *Cota do Fundo* |
| $N_{PMAV}$ | [m] | *Nível de água em Preia-Mar* |
| $Z_{coroamento}$ | [m] | *Cota do Coroamento* |
| $h_c$ | [m] | *Altura da Proteção de Enrocamento* |
| d | [m] | *Profundidade* |
| $W_{núcleo}$ | [kg] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Núcleo* |
| $W_{M.R.}$ | [t] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Manto Resistente* |
| $D_{n50}$ | [m] | *Dimensão Média dos Blocos* |

| | |
|---|---|
| ***Projeto:*** | **Emissário Submarino de Câmara de Lobos - Solução G** |
| ***Instituição:*** | **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto** |
| ***Data:*** | **Maio/2014** |

U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Características do projeto**

**Caudal de Projeto** 0.12222 [$m^3/s$]

**Dados Geométricos**

**Emissário**

*Material* Polietileno de alta densidade

*Diâmetro* 300 [mm]

*Troço Marítimo* 429.34 [m] *Troço Terrestre* 40 [m]

**Difusor**

*Profundidade Máxima* 25 [m]

*Comprimento* 40 [m]

*Número de risers* 4 [m]

**Dimensionamento Hidráulico**

**Emissário**

| | | | | Perdas de carga | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{exu}$ | $Q_{desc}$ | $U_{desc}$ | $L_{exu}$ | $\Delta H_{cont}$ | $\Delta H_{cc}$ | $\Delta H_{total\ exu}$ |
| [mm] | [L/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 300 | 122 | 1.729 | 469.34 | 8.55 | 0.08 | 8.62 |

**Cota Piezométrica - ETAR**

| | | |
|---|---|---|
| Cota piezométrica mínima na ETAR | 13.7 | [m] ao ZH! |
| *(se não for possível garantir a cota mencionada o sistema não pode funcionar graviticamente)* | | |

$D_{exu}$ *Diâmetro do exutor;*

$Q_{desc}$ *Caudal descarregado;*

$U_{desc}$ *Velocidade média de escoamento;*

$\Delta H_{cont}$ *Perda de carga contínua;*

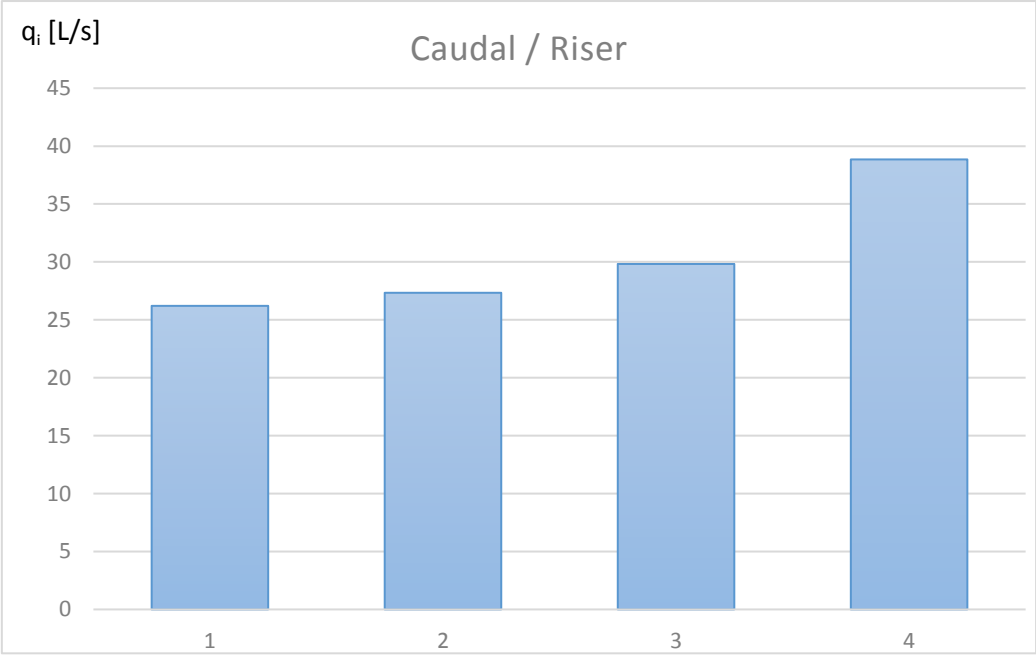
$\Delta H_{CC}$ *Perda de carga localizada à saida da câmara de carga*

$\Delta H_{total\ exu}$ *Perda de carga global no exutor*

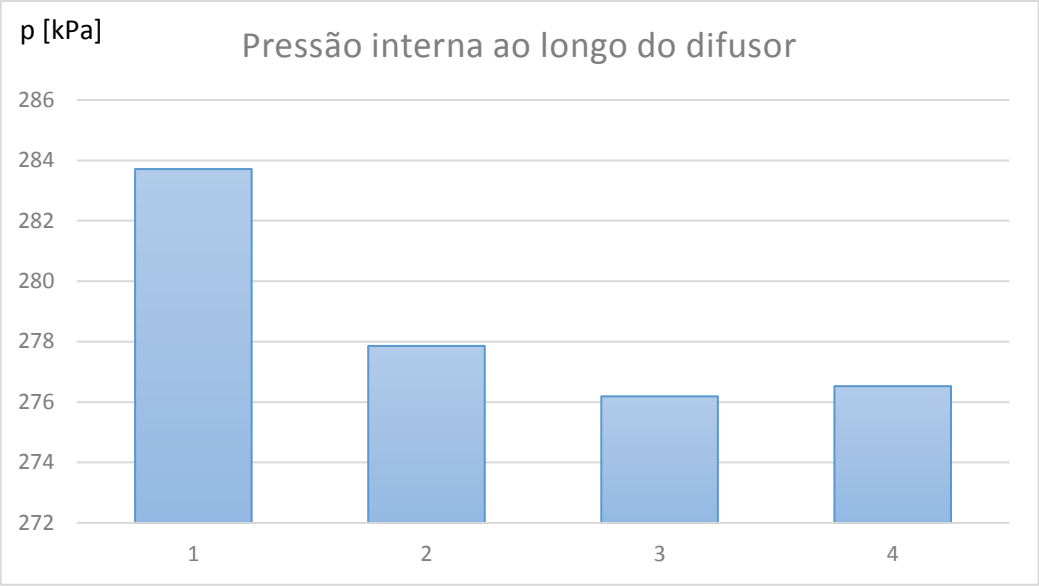
**Comportamento Hidráulico**

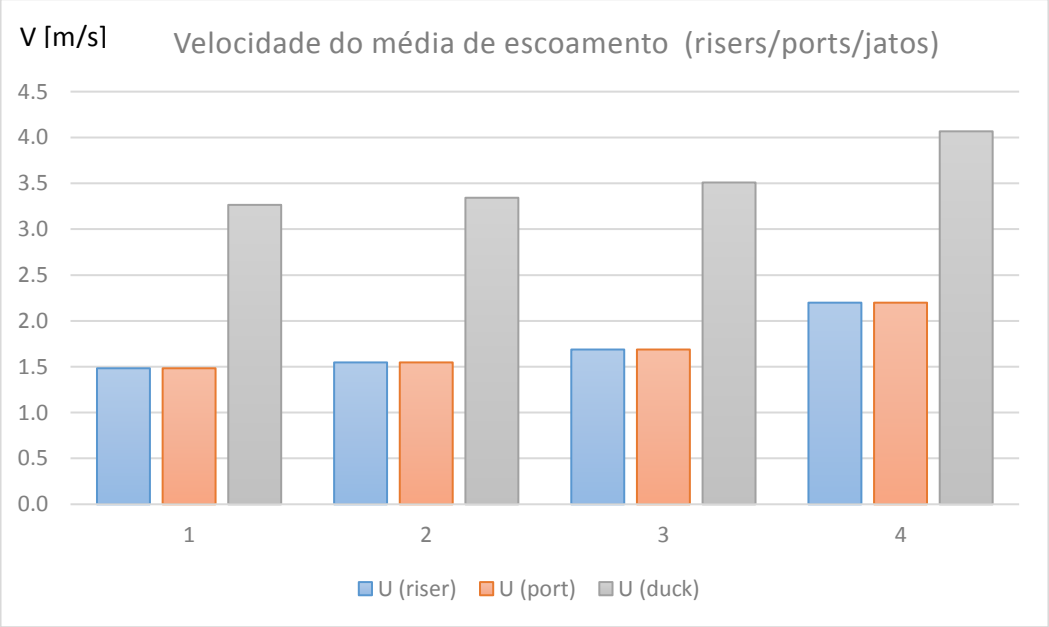
**Difusor**

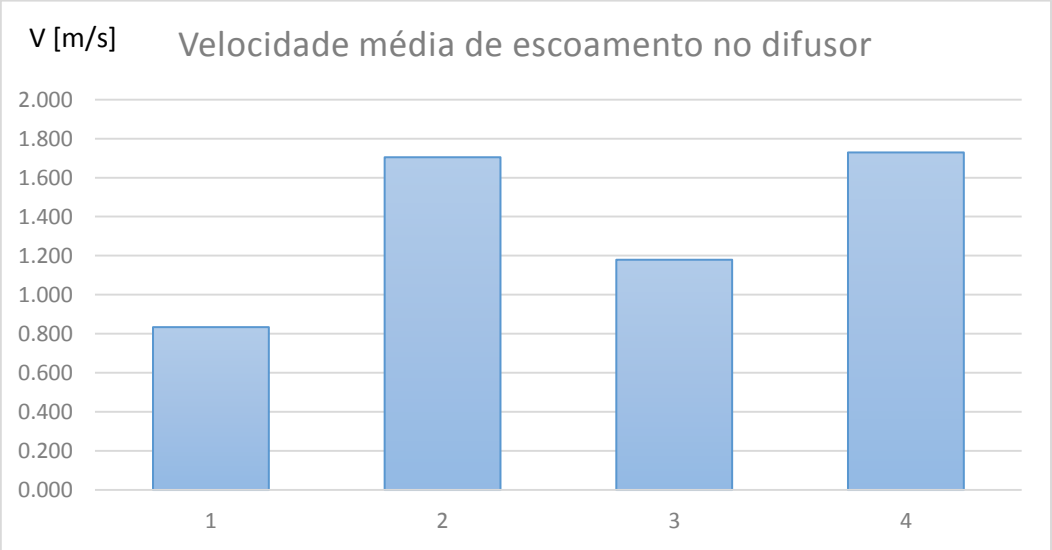
| Riser | q | P | $P/\gamma_{MAR}$ | $U_{dif}$ | $U_{riser}$ | $U_{port}$ | $U_{duck}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [L/s] | [kPa] | [m] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m/s] |
| 1 | 26.21 | 283.71 | 28.27 | 0.834 | 1.483 | 1.483 | 3.265 |
| 2 | 27.34 | 277.86 | 27.69 | 1.704 | 1.547 | 1.547 | 3.343 |
| 3 | 29.82 | 276.19 | 27.52 | 1.179 | 1.688 | 1.688 | 3.509 |
| 4 | 38.85 | 276.53 | 27.55 | 1.729 | 2.199 | 2.199 | 4.067 |
| $\sum$ | 122.22 | | | | | | |




| | |
|---|---|
| q | *Caudal descarregado em cada riser* |
| P | *Pressão relativa (eixo do difusor)* |
| $U_{dif}$ | *Velocidade média de escoamento - Difusor* |
| $U_{riser}$ | *Velocidade média de escoamento - Riser* |
| $U_{port}$ | *Velocidade média de escoamento - Porta* |
| $U_{duck}$ | *Velocidade média de escoamento - Válvula "Duckill"* |


p [kPa]
Pressão interna ao longo do difusor
286
284
282
280
278
276
274
272
1
2
3
4


V [m/s]
Velocidade do média de escoamento (risers/ports/jatos)
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
1
2
3
4
U (riser)
U (port)
U (duck)


V [m/s]
Velocidade média de escoamento no difusor
2.000
1.800
1.600
1.400
1.200
1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
1
2
3
4

**Intrusão salina (durante a descarga)**

| Riser | qi | ui (jato) | Dp,i | Fr | Intrusão |
|---|---|---|---|---|---|
| | [l/s] | [m/s] | [m] | [-] | |
| 1 | 26.2 | 3.26 | 0.15 | 17.0 | Ok! |
| 2 | 27.3 | 3.34 | 0.15 | 17.4 | Ok! |
| 3 | 29.8 | 3.51 | 0.15 | 18.3 | Ok! |
| 4 | 38.9 | 4.07 | 0.15 | 21.2 | Ok! |

Não existem problemas de intrusão salina

**Eficiência Ambiental**

**Diluição / Dispersão / Die-off**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $D_i$ | 1642.008 | [-] | *Diluição inicial* |
| $D_h$ | 1.282291 | [-] | *Dispersão horizontal* |
| $D_b$ | 1.893685 | [-] | *Die-Off* |

| **Descarga** | | | | **Costa** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{totais}$ | 1.00E+07 | [un/100ml] | → | $C_{totais}$ | 2508.0169 | [un/100ml] |
| $C_{fecais}$ | 1.00E+06 | [un/100ml] | → | $C_{fecais}$ | 250.80169 | [un/100ml] |

**Dimensionamento Estrutural**

**Características da agitação marítima**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_R$ | 100 | [anos] | *Período de Retorno* |
| $H_{des}$ | 8.5 | [m] | *Altura de Onda de Projeto* |
| $T_{des}$ | 9 | [s] | *Período de Projeto* |
| $L_0$ | 126 | [m] | *Comprimento de Onda* |

| Zona de Rebentação | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Batimétrica | $(H/L_0)_{MÁX}$ | $H_{MÁXMiche}$ | 0.78*d | $H_{design}$ | Rebentação |
| [m] | [-] | [m] | [m] | [m] | |
| 1 | 0.0070 | 0.89 | 0.78 | 0.78 | Zona de Rebentação |
| 2 | 0.0140 | 1.78 | 1.56 | 1.56 | Zona de Rebentação |
| 3 | 0.0210 | 2.65 | 2.34 | 2.34 | Zona de Rebentação |
| 4 | 0.0278 | 3.52 | 3.12 | 3.12 | Zona de Rebentação |
| 5 | 0.0345 | 4.37 | 3.90 | 3.9 | Zona de Rebentação |
| 6 | 0.0411 | 5.19 | 4.68 | 4.68 | Zona de Rebentação |
| 7 | 0.0474 | 6.00 | 5.46 | 5.46 | Zona de Rebentação |
| 8 | 0.0536 | 6.77 | 6.24 | 6.24 | Zona de Rebentação |
| 9 | 0.0595 | 7.52 | 7.02 | 7.02 | Zona de Rebentação |
| 10 | 0.0652 | 8.24 | 7.80 | 7.8 | Zona de Rebentação |
| 11 | 0.0706 | 8.93 | 8.58 | 8.5 | Ok |
| 12 | 0.0758 | 9.58 | 9.36 | 8.5 | Ok |
| 13 | 0.0807 | 10.20 | 10.14 | 8.5 | Ok |
| 14 | 0.0853 | 10.79 | 10.92 | 8.5 | Ok |
| 15 | 0.0897 | 11.34 | 11.70 | 8.5 | Ok |
| 16 | 0.0938 | 11.86 | 12.48 | 8.5 | Ok |
| 17 | 0.0976 | 12.34 | 13.26 | 8.5 | Ok |
| 18 | 0.1012 | 12.80 | 14.04 | 8.5 | Ok |
| 19 | 0.1045 | 13.22 | 14.82 | 8.5 | Ok |
| 20 | 0.1076 | 13.61 | 15.60 | 8.5 | Ok |

| Dimensionamento de anéis de betão | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CD | 2 | | $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | | e | 5 | [m] |
| CM | 2 | | $\gamma_{betão}$ | 25 | [kN/m$^3$] | | Ø' | 30 | [$^o$] |
| CL | 1 | | $\gamma_{PEAD}$ | 8.829 | [kN/m$^3$] | | F.S. | 1.5 | [-] |
| | | | $W_{u.c.}$ | 0.226611 | [kg/m] | | | | |

**Cenário 1 - Solução optimizada, Todos os anéis diferentes**

| $\Delta$Z | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [m$^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5362 | 2.10 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 4851 | 1.90 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 4 | 4596 | 1.80 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 4 | 4348 | 1.71 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 4 | 4110 | 1.61 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 4 | 3878 | 1.52 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 4 | 3653 | 1.43 |

**Cenário 2 - Todos os anéis iguais**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 4 | 5614 | 2.20 |

**Cenário 3 - Blocos diferentes em intervalos de 100m**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 4 | 5107 | 2.00 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 4 | 3878 | 1.52 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 4 | 3878 | 1.52 |

**Cenário 4 - Apenas 2 tipos de anéis**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 4 | 5614 | 2.20 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 4 | 4851 | 1.90 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 4 | 4851 | 1.90 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 4 | 4851 | 1.90 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 4 | 4851 | 1.90 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 4 | 4851 | 1.90 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 4 | 4851 | 1.90 |

## Comparação de Resultados

| Cenário | $\sum N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | |
|---|---|---|---|
| [-] | [-] | [$m^3$] | Descrição |
| 1 | 43.04369 | 80 | *Todos os anéis diferentes* |
| 2 | 43.04369 | 95 | *Todos os anéis iguais* |
| 3 | 43.04369 | 85 | *Aneis iguais em intervalos de 100m* |
| 4 | 43.04369 | 87 | *Apenas 2 tipos de anel* |

## Anéis de Afundamento - Zona de Rebetanção

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel | $V_{betão}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] | [$m^3$] |
| 0-1 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 1-2 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 2-3 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 3-4 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 4-5 | 0 | 0 | 2.1 | 417 | 0.16 | 0.34 |
| 5-6 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |
| 6-7 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |
| 7-8 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |
| 8-9 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |
| 9-10 | 0 | 0 | 2.9 | 417 | 0.16 | 0.47 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $\sum N_{anéis}$ | 24.9 | $V_{total\ betão}$ | 4.08 | [$m^3$] |

**Zona de Rebentação - Proteção de Enrocamento**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_{design}$ | 15 | [s] | *Período de Projeto* |
| S | 2 | [-] | *Nível de estragos admissível* |
| $\gamma_{material}$ | 29 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico dos Blocos* |
| $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $N_{PMAV}$ | 2.9 | [m] | *Nível de Água em Preia Mar* |
| tg $\theta$ | 0.5 | [-] | *Inclinação dos Taludes* |

Proteção de Enrocamento

| $Z_{fundo}$ | $N_{PMAV}$ | $Z_{coroamento}$ | $h_c$ | d | $H_{des}$ | $D_{n50}$ | $W_{van\ der\ Meer}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kN] | [kg] |
| 0 | 2.9 | 2.6 | 2.6 | 2.9 | 0.78 | 0.26 | 0.5 | 52.3 |
| -1 | 2.9 | 1.6 | 2.6 | 3.9 | 1.56 | 0.39 | 1.7 | 177.9 |
| -2 | 2.9 | 0.6 | 2.6 | 4.9 | 2.34 | 0.49 | 3.5 | 355.2 |
| -3 | 2.9 | -0.4 | 2.6 | 5.9 | 3.12 | 0.58 | 5.7 | 582.6 |
| -4 | 2.9 | -1.4 | 2.6 | 6.9 | 3.9 | 0.66 | 8.4 | 861.1 |
| -5 | 2.9 | -2.4 | 2.6 | 7.9 | 4.68 | 0.74 | 11.7 | 1192.1 |
| -6 | 2.9 | -3.4 | 2.6 | 8.9 | 5.46 | 0.81 | 15.5 | 1577.2 |
| -7 | 2.9 | -4.4 | 2.6 | 9.9 | 6.24 | 0.88 | 19.8 | 2017.9 |
| -8 | 2.9 | -5.4 | 2.6 | 10.9 | 7.02 | 0.95 | 24.7 | 2515.7 |
| -9 | 2.9 | -6.4 | 2.6 | 11.9 | 7.8 | 1.01 | 30.1 | 3072.2 |
| -10 | 2.9 | -7.4 | 2.6 | 12.9 | 8.58 | 1.08 | 36.2 | 3688.8 |

Escalonamento

Câmara de Lobos - Proteção de Enrocamento

| $\Delta Z$ | $\Sigma L$ | Trecho | $h_c$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 10.5 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 1-2 | 20.9 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 2-3 | 31.4 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 3-4 | 41.8 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 4-5 | 52.3 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 5-6 | 66.7 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 6-7 | 81.2 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 7-8 | 95.6 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 8-9 | 110.1 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |
| 9-10 | 124.6 | 1 | 2.05 | 0.85 | 1.81 | 181.3 |

| Varíaveis | | |
|---|---|---|
| $T_R$ | [anos] | *Tempo de retorno* |
| $H_{máx}$ | [m] | *Altura máxima de onda* |
| T | [s] | *Período de Onda* |
| L | [m] | *Comprimento de Onda* |
| $(H/L)_{máx}$ | [-] | *Declividade máxima de Miche* |
| $H_{design}$ | [m] | *Altura de Onda de Dimensionamento* |
| $C_D$ | [-] | *Coeficiente de Resistência* |
| $C_M$ | [-] | *Coeficiente de Inércia* |
| $C_L$ | [-] | *Coeficiente de Sustentação* |
| $\gamma_{mar}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $\gamma_{betão}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico do Betão* |
| $\gamma_{PEAD}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da conduta de PEAD* |
| $W_{u.c.}$ | [kg/m] | *Massa Unitária da conduta de PEAD* |
| e | [m] | *Espaçamento entre Anéis* |
| Ø' | [°] | *Ângulo de Atrito da Interface Anel de Betão - Fundo Marítimo* |
| F.S. | [-] | *Fator de Segurança* |
| $F_H$ | [N/m] | *Força Horizontal unitária* |
| $F_V$ | [N/m] | *Força Vertical Unitária* |
| $N_{anéis}$ | [-] | *Número de Anéis de Betão* |
| $W_{anel}$ | [kg] | *Massa de um Anel de Betão* |
| $Z_{fundo}$ | [m] | *Cota do Fundo* |
| $N_{PMAV}$ | [m] | *Nível de água em Preia-Mar* |
| $Z_{coroamento}$ | [m] | *Cota do Coroamento* |
| $h_c$ | [m] | *Altura da Proteção de Enrocamento* |
| d | [m] | *Profundidade* |
| $W_{núcleo}$ | [kg] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Núcleo* |
| $W_{M.R.}$ | [t] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Manto Resistente* |
| $D_{n50}$ | [m] | *Dimensão Média dos Blocos* |

| | |
|---|---|
| ***Projeto:*** | **Emissário Submarino de Machico - Solução A** |
| ***Instituição:*** | **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto** |
| ***Data:*** | **Maio/2014** |

U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Características do projeto**

**Caudal de Projeto** 0.0951 [$m^3/s$]

**Dados Geométricos**

**Emissário**

*Material* Polietileno de alta densidade

*Diâmetro* 300 [mm]

*Troço Marítimo* 133.5 [m] *Troço Terrestre* 367.7 [m]

**Difusor**

*Profundidade Máxima* 20 [m]

*Comprimento* 20 [m]

*Número de risers* 4 [m]

**Dimensionamento Hidráulico**

**Emissário**

| | | | | Perdas de carga | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{exu}$ | $Q_{desc}$ | $U_{desc}$ | $L_{exu}$ | $\Delta H_{cont}$ | $\Delta H_{cc}$ | $\Delta H_{total\ exu}$ |
| [mm] | [L/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 300 | 95 | 1.345 | 501.2 | 5.63 | 0.05 | 5.68 |

**Cota Piezométrica - ETAR**

| | | |
|---|---|---|
| Cota piezométrica mínima na ETAR | 9.5 | [m] ao ZH! |
| *(se não for possível garantir a cota mencionada o sistema não pode funcionar graviticamente)* | | |

$D_{exu}$ *Diâmetro do exutor;*

$Q_{desc}$ *Caudal descarregado;*

$U_{desc}$ *Velocidade média de escoamento;*

$\Delta H_{cont}$ *Perda de carga contínua;*

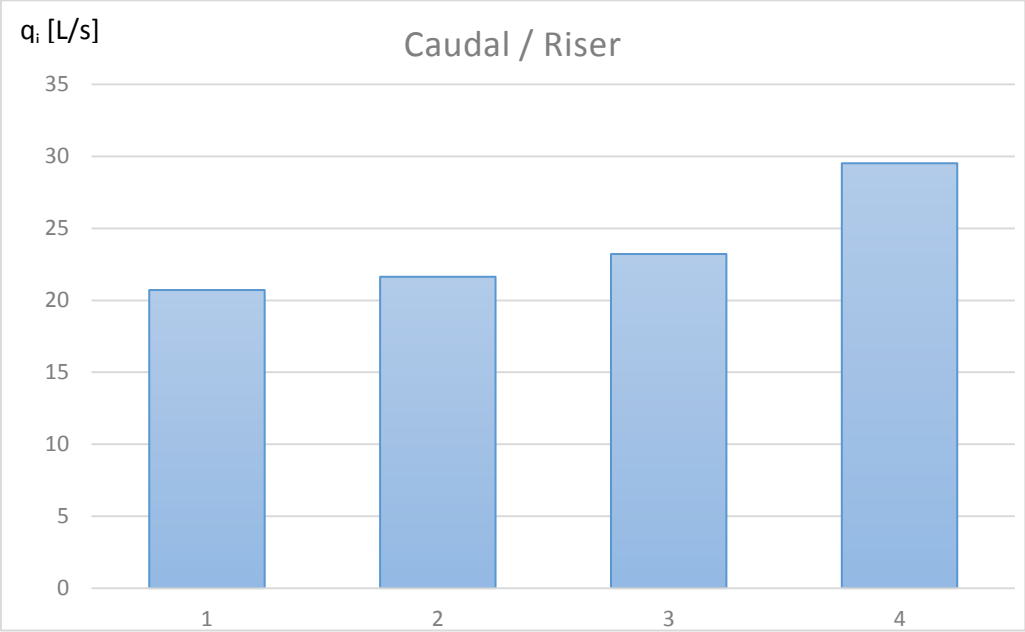
$\Delta H_{CC}$ *Perda de carga localizada à saida da câmara de carga*

$\Delta H_{total\ exu}$ *Perda de carga global no exutor*

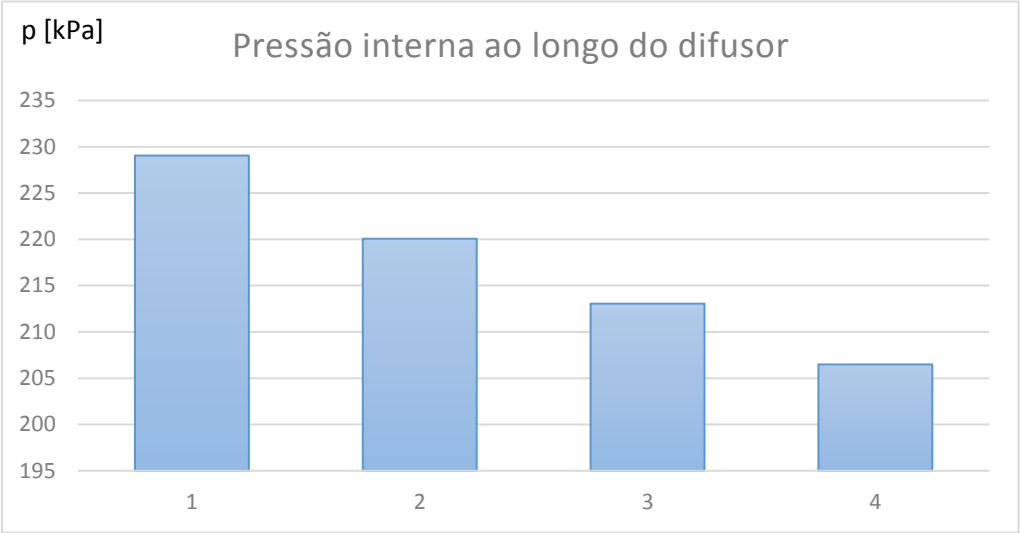
**Comportamento Hidráulico**

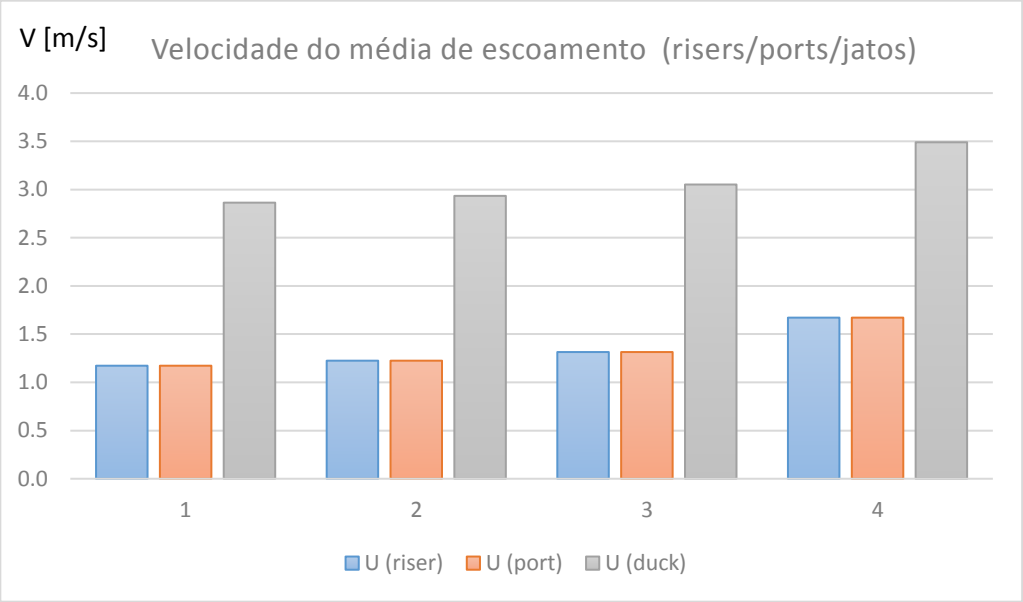
**Difusor**

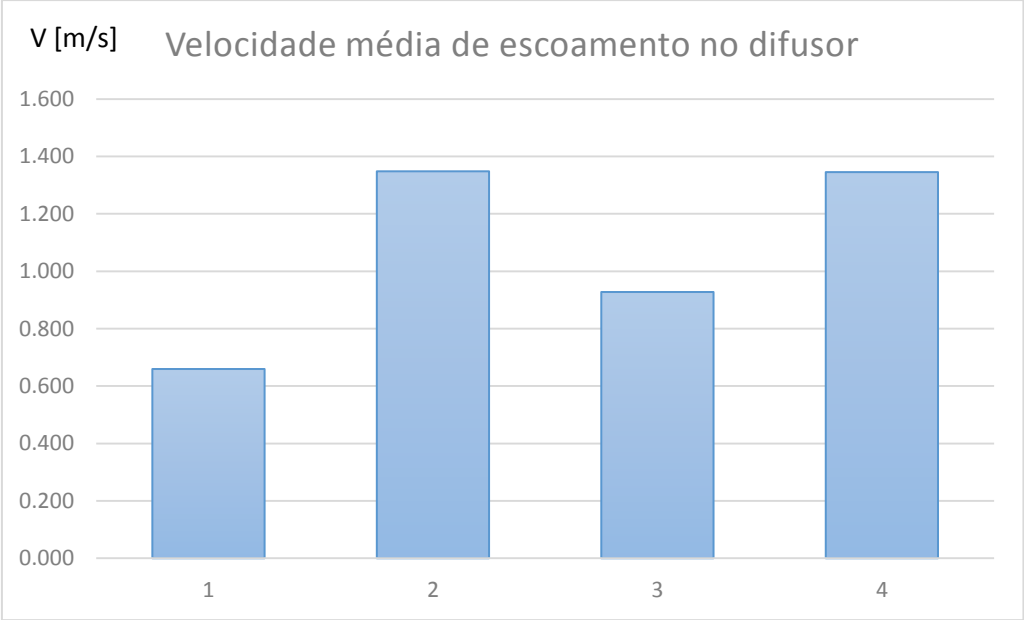
| Riser | q | P | $P/\gamma_{MAR}$ | $U_{dif}$ | $U_{riser}$ | $U_{port}$ | $U_{duck}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [L/s] | [kPa] | [m] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m/s] |
| 1 | 20.72 | 229.05 | 22.82 | 0.659 | 1.172 | 1.172 | 2.863 |
| 2 | 21.64 | 220.07 | 21.93 | 1.348 | 1.224 | 1.224 | 2.934 |
| 3 | 23.22 | 213.05 | 21.23 | 0.928 | 1.314 | 1.314 | 3.052 |
| 4 | 29.53 | 206.49 | 20.58 | 1.345 | 1.671 | 1.671 | 3.490 |
| $\sum$ | 95.10 | | | | | | |




| | |
|---|---|
| q | *Caudal descarregado em cada riser* |
| P | *Pressão relativa (eixo do difusor)* |
| $U_{dif}$ | *Velocidade média de escoamento - Difusor* |
| $U_{riser}$ | *Velocidade média de escoamento - Riser* |
| $U_{port}$ | *Velocidade média de escoamento - Porta* |
| $U_{duck}$ | *Velocidade média de escoamento - Válvula "Duckill"* |


p [kPa]
Pressão interna ao longo do difusor
235
230
225
220
215
210
205
200
195
1
2
3
4


V [m/s]
Velocidade do média de escoamento (risers/ports/jatos)
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
1
2
3
4
U (riser)
U (port)
U (duck)


V [m/s]
Velocidade média de escoamento no difusor
1.600
1.400
1.200
1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
1
2
3
4

## Intrusão salina (durante a descarga)

| Riser | qi | ui (jato) | Dp,i | Fr | Intrusão |
|---|---|---|---|---|---|
| | [l/s] | [m/s] | [m] | [-] | |
| 1 | 20.7 | 2.86 | 0.15 | 14.9 | Ok! |
| 2 | 21.6 | 2.93 | 0.15 | 15.3 | Ok! |
| 3 | 23.2 | 3.05 | 0.15 | 15.9 | Ok! |
| 4 | 29.5 | 3.49 | 0.15 | 18.2 | Ok! |

Não existem problemas de intrusão salina

## Condições de Balneabilidade

### Diluição / Dispersão / Die-off

| | | | |
|---|---|---|---|
| $D_i$ | 678.9683 | [-] | *Diluição inicial* |
| $D_h$ | 1.08807 | [-] | *Dispersão horizontal* |
| $D_b$ | 1.204593 | [-] | *Die-Off* |

| Descarga | | | | Costa | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{totais}$ | 1.00E+07 | [un/100ml] | → | $C_{totais}$ | 11237.068 | [un/100ml] |
| $C_{fecais}$ | 1.00E+06 | [un/100ml] | → | $C_{fecais}$ | 1123.7068 | [un/100ml] |

**Dimensionamento Estrutural**

**Características da agitação marítima**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_R$ | 100 | [anos] | *Período de Retorno* |
| $H_{des}$ | 8.5 | [m] | *Altura de Onda de Projeto* |
| $T_{des}$ | 9 | [s] | *Período de Projeto* |
| $L_0$ | 126 | [m] | *Comprimento de Onda* |

| Zona de Rebentação | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Batimétrica | $(H/L_0)_{MÁX}$ | $H_{MÁXMiche}$ | 0.78*d | $H_{design}$ | Rebentação |
| [m] | [-] | [m] | [m] | [m] | |
| 1 | 0.0070 | 0.89 | 0.78 | 0.78 | Zona de Rebentação |
| 2 | 0.0140 | 1.78 | 1.56 | 1.56 | Zona de Rebentação |
| 3 | 0.0210 | 2.65 | 2.34 | 2.34 | Zona de Rebentação |
| 4 | 0.0278 | 3.52 | 3.12 | 3.12 | Zona de Rebentação |
| 5 | 0.0345 | 4.37 | 3.90 | 3.9 | Zona de Rebentação |
| 6 | 0.0411 | 5.19 | 4.68 | 4.68 | Zona de Rebentação |
| 7 | 0.0474 | 6.00 | 5.46 | 5.46 | Zona de Rebentação |
| 8 | 0.0536 | 6.77 | 6.24 | 6.24 | Zona de Rebentação |
| 9 | 0.0595 | 7.52 | 7.02 | 7.02 | Zona de Rebentação |
| 10 | 0.0652 | 8.24 | 7.80 | 7.8 | Zona de Rebentação |
| 11 | 0.0706 | 8.93 | 8.58 | 8.5 | Ok |
| 12 | 0.0758 | 9.58 | 9.36 | 8.5 | Ok |
| 13 | 0.0807 | 10.20 | 10.14 | 8.5 | Ok |
| 14 | 0.0853 | 10.79 | 10.92 | 8.5 | Ok |
| 15 | 0.0897 | 11.34 | 11.70 | 8.5 | Ok |
| 16 | 0.0938 | 11.86 | 12.48 | 8.5 | Ok |
| 17 | 0.0976 | 12.34 | 13.26 | 8.5 | Ok |
| 18 | 0.1012 | 12.80 | 14.04 | 8.5 | Ok |
| 19 | 0.1045 | 13.22 | 14.82 | 8.5 | Ok |
| 20 | 0.1076 | 13.61 | 15.60 | 8.5 | Ok |
| 21 | 0.1105 | 13.97 | 16.38 | 8.5 | Ok |
| 22 | 0.1132 | 14.31 | 17.16 | 8.5 | Ok |
| 23 | 0.1156 | 14.62 | 17.94 | 8.5 | Ok |
| 24 | 0.1179 | 14.91 | 18.72 | 8.5 | Ok |
| 25 | 0.1200 | 15.17 | 19.50 | 8.5 | Ok |
| 26 | 0.1219 | 15.41 | 20.28 | 8.5 | Ok |
| 27 | 0.1237 | 15.64 | 21.06 | 8.5 | Ok |
| 28 | 0.1253 | 15.84 | 21.84 | 8.5 | Ok |
| 29 | 0.1267 | 16.03 | 22.62 | 8.5 | Ok |
| 30 | 0.1281 | 16.20 | 23.40 | 8.5 | Ok |

| Dimensionamento de anéis de betão | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CD | 2 | | $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | | e | 5 | [m] |
| CM | 2 | | $\gamma_{betão}$ | 25 | [kN/m$^3$] | | Ø' | 30 | [$^o$] |
| CL | 1 | | $\gamma_{PEAD}$ | 8.829 | [kN/m$^3$] | | F.S. | 1.5 | [-] |
| | | | $W_{u.c.}$ | 14.3 | [kg/m] | | kN/m | | |

**Cenário 1 - Solução optimizada, Todos os anéis diferentes**

| $\triangle$Z | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [m$^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 1 | 5254 | 2.06 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 1 | 4999 | 1.96 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 1 | 4488 | 1.76 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 1 | 4240 | 1.66 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 1 | 4002 | 1.57 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 1 | 3769 | 1.48 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 1 | 3545 | 1.39 |

**Cenário 2 - Todos os anéis iguais**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 1 | 5505 | 2.16 |

**Cenário 3 - Blocos diferentes em intervalos de 100m**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 1 | 4743 | 1.86 |

**Cenário 4 - Apenas 2 tipos de anéis**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 1 | 4743 | 1.86 |

## Comparação de Resultados

| Cenário | $\sum N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | |
|---|---|---|---|
| [-] | [-] | [$m^3$] | Descrição |
| 1 | 9.359954 | 16 | *Todos os anéis diferentes* |
| 2 | 9.359954 | 20 | *Todos os anéis iguais* |
| 3 | 9.359954 | 18 | *Aneis iguais em intervalos de 100m* |
| 4 | 9.359954 | 18 | *Apenas 2 tipos de anel* |

## Anéis de Afundamento - Zona de Rebetanção

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel | $V_{betão}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] | [$m^3$] |
| 0-1 | 0 | 0 | 2.7 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 1-2 | 0 | 0 | 2.7 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 2-3 | 0 | 0 | 2.7 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 3-4 | 0 | 0 | 2.7 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 4-5 | 0 | 0 | 2.7 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 5-6 | 0 | 0 | 0.7 | 258 | 0.10 | 0.08 |
| 6-7 | 0 | 0 | 0.7 | 258 | 0.10 | 0.08 |
| 7-8 | 0 | 0 | 0.7 | 258 | 0.10 | 0.08 |
| 8-9 | 0 | 0 | 0.7 | 258 | 0.10 | 0.08 |
| 9-10 | 0 | 0 | 0.7 | 258 | 0.10 | 0.08 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $\sum N_{anéis}$ | 17.0 | $V_{total\ betão}$ | 1.72 | [$m^3$] |

**Zona de Rebentação - Proteção de Enrocamento**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_{design}$ | 15 | [s] | *Período de Projeto* |
| S | 2 | [-] | *Nível de estragos admissível* |
| $\gamma_{material}$ | 29 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico dos Blocos* |
| $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $N_{PMAV}$ | 2.9 | [m] | *Nível de Água em Preia Mar* |
| tg $\theta$ | 0.5 | [-] | *Inclinação dos Taludes* |

Proteção de Enrocamento

| $Z_{fundo}$ | $N_{PMAV}$ | $Z_{coroamento}$ | $h_c$ | d | $H_{des}$ | $D_{n50}$ | $W_{van\ der\ Meer}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kN] | [kg] |
| 0 | 2.9 | 1.69 | 1.69 | 2.9 | 0.78 | 0.15 | 0.1 | 0.01 |
| -1 | 2.9 | 0.69 | 1.69 | 3.9 | 1.56 | 0.25 | 0.4 | 0.04 |
| -2 | 2.9 | -0.31 | 1.69 | 4.9 | 2.34 | 0.33 | 1.0 | 0.10 |
| -3 | 2.9 | -1.31 | 1.69 | 5.9 | 3.12 | 0.40 | 1.8 | 0.18 |
| -4 | 2.9 | -2.31 | 1.69 | 6.9 | 3.9 | 0.46 | 2.8 | 0.29 |
| -5 | 2.9 | -3.31 | 1.69 | 7.9 | 4.68 | 0.52 | 4.1 | 0.42 |
| -6 | 2.9 | -4.31 | 1.69 | 8.9 | 5.46 | 0.58 | 5.6 | 0.57 |
| -7 | 2.9 | -5.31 | 1.69 | 9.9 | 6.24 | 0.63 | 7.4 | 0.76 |
| -8 | 2.9 | -6.31 | 1.69 | 10.9 | 7.02 | 0.69 | 9.5 | 0.97 |
| -9 | 2.9 | -7.31 | 1.69 | 11.9 | 7.8 | 0.74 | 11.8 | 1.20 |
| -10 | 2.9 | -8.31 | 1.69 | 12.9 | 8.58 | 0.79 | 14.4 | 1.47 |

Escalonamento

Machico - Proteção de Enrocamento

| $\Delta Z$ | $\Sigma L$ | Trecho | $h_c$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 13.3 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 1-2 | 26.5 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 2-3 | 39.8 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 3-4 | 53.1 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 4-5 | 66.4 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 5-6 | 70.1 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 6-7 | 73.8 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 7-8 | 77.6 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 8-9 | 81.3 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 9-10 | 85.1 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |

| Varíaveis | | |
|---|---|---|
| $T_R$ | [anos] | *Tempo de retorno* |
| $H_{máx}$ | [m] | *Altura máxima de onda* |
| T | [s] | *Período de Onda* |
| L | [m] | *Comprimento de Onda* |
| $(H/L)_{máx}$ | [-] | *Declividade máxima de Miche* |
| $H_{design}$ | [m] | *Altura de Onda de Dimensionamento* |
| $C_D$ | [-] | *Coeficiente de Resistência* |
| $C_M$ | [-] | *Coeficiente de Inércia* |
| $C_L$ | [-] | *Coeficiente de Sustentação* |
| $\gamma_{mar}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $\gamma_{betão}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico do Betão* |
| $\gamma_{PEAD}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da conduta de PEAD* |
| $W_{u.c.}$ | [kg/m] | *Massa Unitária da conduta de PEAD* |
| e | [m] | *Espaçamento entre Anéis* |
| Ø' | [°] | *Ângulo de Atrito da Interface Anel de Betão - Fundo Marítimo* |
| F.S. | [-] | *Fator de Segurança* |
| $F_H$ | [N/m] | *Força Horizontal unitária* |
| $F_V$ | [N/m] | *Força Vertical Unitária* |
| $N_{anéis}$ | [-] | *Número de Anéis de Betão* |
| $W_{anel}$ | [kg] | *Massa de um Anel de Betão* |
| $Z_{fundo}$ | [m] | *Cota do Fundo* |
| $N_{PMAV}$ | [m] | *Nível de água em Preia-Mar* |
| $Z_{coroamento}$ | [m] | *Cota do Coroamento* |
| $h_c$ | [m] | *Altura da Proteção de Enrocamento* |
| d | [m] | *Profundidade* |
| $W_{núcleo}$ | [kg] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Núcleo* |
| $W_{M.R.}$ | [t] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Manto Resistente* |
| $D_{n50}$ | [m] | *Dimensão Média dos Blocos* |

| | |
|---|---|
| ***Projeto:*** | **Emissário Submarino de Machico - Solução B** |
| ***Instituição:*** | **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto** |
| ***Data:*** | **Maio/2014** |

U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Características do projeto**

**Caudal de Projeto** 0.0951 [$m^3/s$]

**Dados Geométricos**

**Emissário**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| *Material* | Polietileno de alta densidade | | | |
| *Diâmetro* | 300 | [mm] | | |
| *Troço Marítimo* | 174.9 | [m] | *Troço Terrestre* | 367.7 [m] |

**Difusor**

| | | |
|---|---|---|
| *Profundidade Máxima* | 25 | [m] |
| *Comprimento* | 40 | [m] |
| *Número de risers* | 4 | [m] |

**Dimensionamento Hidráulico**

**Emissário**

| | | | | Perdas de carga | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{exu}$ | $Q_{desc}$ | $U_{desc}$ | $L_{exu}$ | $\Delta H_{cont}$ | $\Delta H_{cc}$ | $\Delta H_{total\ exu}$ |
| [mm] | [L/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 300 | 95 | 1.345 | 542.6 | 6.10 | 0.05 | 6.14 |

**Cota Piezométrica - ETAR**

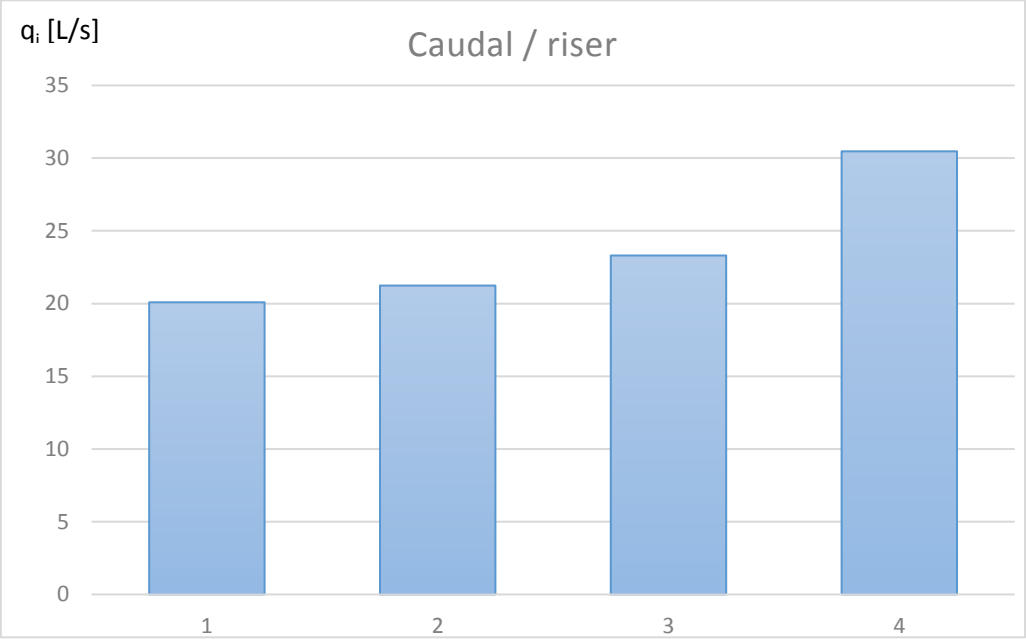
| | | |
|---|---|---|
| Cota piezométrica mínima na ETAR | 10.3 | [m] ao ZH! |
| *(se não for possível garantir a cota mencionada o sistema não pode funcionar graviticamente)* | | |

| | |
|---|---|
| $D_{exu}$ | *Diâmetro do exutor;* |
| $Q_{desc}$ | *Caudal descarregado;* |
| $U_{desc}$ | *Velocidade média de escoamento;* |
| $\Delta H_{cont}$ | *Perda de carga contínua;* |
| $\Delta H_{CC}$ | *Perda de carga localizada à saida da câmara de carga* |
| $\Delta H_{total\ exu}$ | *Perda de carga global no exutor* |

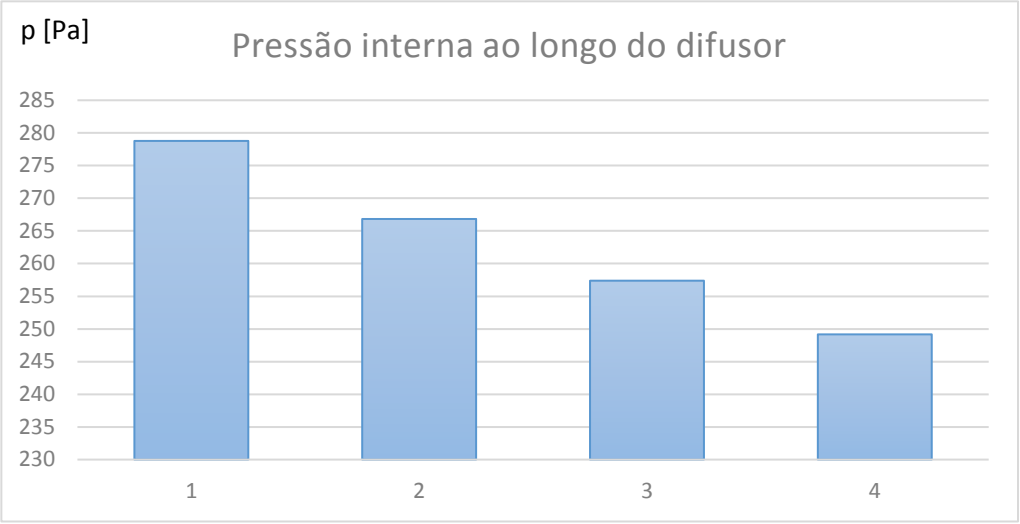
**Comportamento Hidráulico**

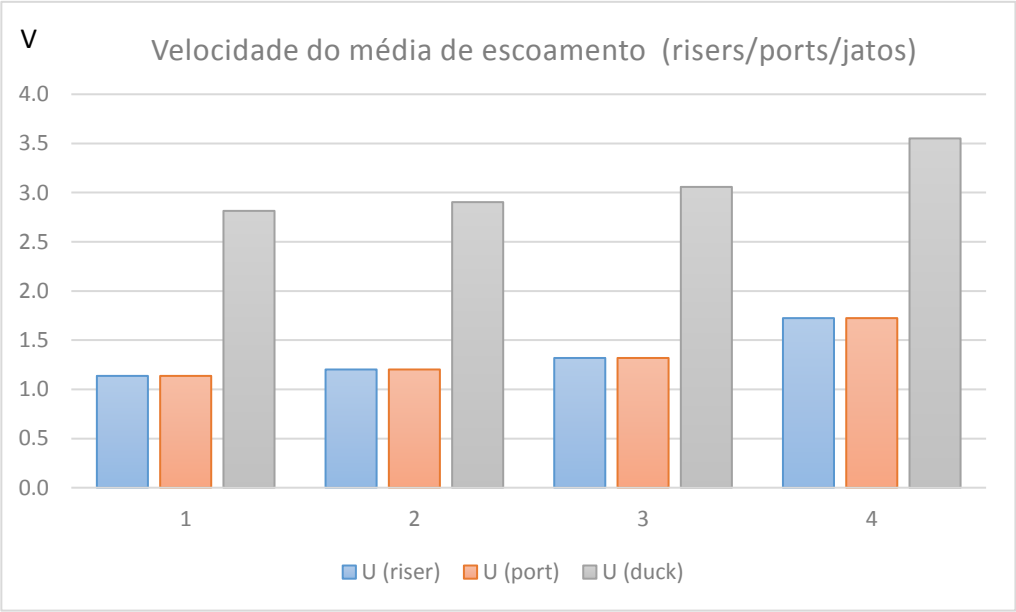
**Difusor**

| Riser | q | P | $P/\gamma_{MAR}$ | $U_{dif}$ | $U_{riser}$ | $U_{port}$ | $U_{duck}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [L/s] | [kPa] | [m] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m/s] |
| 1 | 20.09 | 278.78 | 27.78 | 0.639 | 1.137 | 1.137 | 2.815 |
| 2 | 21.24 | 266.83 | 26.59 | 1.315 | 1.202 | 1.202 | 2.904 |
| 3 | 23.31 | 257.38 | 25.65 | 0.914 | 1.319 | 1.319 | 3.058 |
| 4 | 30.47 | 249.17 | 24.83 | 1.345 | 1.724 | 1.724 | 3.551 |
| $\sum$ | 95.10 | | | | | | |




| | |
|---|---|
| q | *Caudal descarregado em cada riser* |
| P | *Pressão relativa (eixo do difusor)* |
| $U_{dif}$ | *Velocidade média de escoamento - Difusor* |
| $U_{riser}$ | *Velocidade média de escoamento - Riser* |
| $U_{port}$ | *Velocidade média de escoamento - Porta* |
| $U_{duck}$ | *Velocidade média de escoamento - Válvula "Duckill"* |


p [Pa]
Pressão interna ao longo do difusor
285
280
275
270
265
260
255
250
245
240
235
230
1
2
3
4


V
Velocidade do média de escoamento (risers/ports/jatos)
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
1
2
3
4
U (riser)
U (port)
U (duck)


V [m/s]
Velocidade média de escoamento no difusor
1.600
1.400
1.200
1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
1
2
3
4

**Intrusão salina (durante a descarga)**

| Riser | qi | ui (jato) | Dp,i | Fr | Intrusão |
|---|---|---|---|---|---|
| | [l/s] | [m/s] | [m] | [-] | |
| 1 | 20.1 | 2.81 | 0.15 | 14.7 | Ok! |
| 2 | 21.2 | 2.90 | 0.15 | 15.1 | Ok! |
| 3 | 23.3 | 3.06 | 0.15 | 15.9 | Ok! |
| 4 | 30.5 | 3.55 | 0.15 | 18.5 | Ok! |

Não existem problemas de intrusão salina

**Eficiência Ambiental**

**Diluição / Dispersão / Die-off**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $D_i$ | 2108.049 | [-] | *Diluição inicial* |
| $D_h$ | 1.057889 | [-] | *Dispersão horizontal* |
| $D_b$ | 1.247621 | [-] | *Die-Off* |

| **Descarga** | | | | **Costa** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{totais}$ | 1.00E+07 | [un/100ml] | → | $C_{totais}$ | 3594.1536 | [un/100ml] |
| $C_{fecais}$ | 1.00E+06 | [un/100ml] | → | $C_{fecais}$ | 359.41536 | [un/100ml] |

**Dimensionamento Estrutural**

**Características da agitação marítima**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_R$ | 100 | [anos] | *Período de Retorno* |
| $H_{des}$ | 8.5 | [m] | *Altura de Onda de Projeto* |
| $T_{des}$ | 9 | [s] | *Período de Projeto* |
| $L_0$ | 126 | [m] | *Comprimento de Onda* |

| Zona de Rebentação | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Batimétrica | $(H/L_0)_{MÁX}$ | $H_{MÁXMiche}$ | 0.78*d | $H_{design}$ | Rebentação |
| [m] | [-] | [m] | [m] | [m] | |
| 1 | 0.0070 | 0.89 | 0.78 | 0.78 | Zona de Rebentação |
| 2 | 0.0140 | 1.78 | 1.56 | 1.56 | Zona de Rebentação |
| 3 | 0.0210 | 2.65 | 2.34 | 2.34 | Zona de Rebentação |
| 4 | 0.0278 | 3.52 | 3.12 | 3.12 | Zona de Rebentação |
| 5 | 0.0345 | 4.37 | 3.90 | 3.9 | Zona de Rebentação |
| 6 | 0.0411 | 5.19 | 4.68 | 4.68 | Zona de Rebentação |
| 7 | 0.0474 | 6.00 | 5.46 | 5.46 | Zona de Rebentação |
| 8 | 0.0536 | 6.77 | 6.24 | 6.24 | Zona de Rebentação |
| 9 | 0.0595 | 7.52 | 7.02 | 7.02 | Zona de Rebentação |
| 10 | 0.0652 | 8.24 | 7.80 | 7.8 | Zona de Rebentação |
| 11 | 0.0706 | 8.93 | 8.58 | 8.5 | Ok |
| 12 | 0.0758 | 9.58 | 9.36 | 8.5 | Ok |
| 13 | 0.0807 | 10.20 | 10.14 | 8.5 | Ok |
| 14 | 0.0853 | 10.79 | 10.92 | 8.5 | Ok |
| 15 | 0.0897 | 11.34 | 11.70 | 8.5 | Ok |
| 16 | 0.0938 | 11.86 | 12.48 | 8.5 | Ok |
| 17 | 0.0976 | 12.34 | 13.26 | 8.5 | Ok |
| 18 | 0.1012 | 12.80 | 14.04 | 8.5 | Ok |
| 19 | 0.1045 | 13.22 | 14.82 | 8.5 | Ok |
| 20 | 0.1076 | 13.61 | 15.60 | 8.5 | Ok |
| 21 | 0.1105 | 13.97 | 16.38 | 8.5 | Ok |
| 22 | 0.1132 | 14.31 | 17.16 | 8.5 | Ok |
| 23 | 0.1156 | 14.62 | 17.94 | 8.5 | Ok |
| 24 | 0.1179 | 14.91 | 18.72 | 8.5 | Ok |
| 25 | 0.1200 | 15.17 | 19.50 | 8.5 | Ok |
| 26 | 0.1219 | 15.41 | 20.28 | 8.5 | Ok |
| 27 | 0.1237 | 15.64 | 21.06 | 8.5 | Ok |
| 28 | 0.1253 | 15.84 | 21.84 | 8.5 | Ok |
| 29 | 0.1267 | 16.03 | 22.62 | 8.5 | Ok |
| 30 | 0.1281 | 16.20 | 23.40 | 8.5 | Ok |

| Dimensionamento de anéis de betão | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CD | 2 | | $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | | e | 5 | [m] |
| CM | 2 | | $\gamma_{betão}$ | 25 | [kN/m$^3$] | | Ø' | 30 | [$^o$] |
| CL | 1 | | $\gamma_{PEAD}$ | 8.829 | [kN/m$^3$] | | F.S. | 1.5 | [-] |
| | | | $W_{u.c.}$ | 0.140283 | [kg/m] | | kN/m | | |

**Cenário 1 - Solução optimizada, Todos os anéis diferentes**

| $\triangle$Z | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [m$^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 1 | 5254 | 2.06 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 1 | 4999 | 1.96 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 1 | 4488 | 1.76 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 1 | 4240 | 1.66 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 1 | 4002 | 1.57 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 1 | 3769 | 1.48 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 1 | 3545 | 1.39 |
| 20-21 | 1298 | 279 | 2 | 3328 | 1.31 |
| 21-22 | 1213 | 258 | 2 | 3121 | 1.22 |
| 22-23 | 1133 | 239 | 2 | 2923 | 1.15 |
| 23-24 | 1056 | 220 | 2 | 2736 | 1.07 |
| 24-25 | 984 | 203 | 2 | 2558 | 1.00 |

**Cenário 2 - Todos os anéis iguais**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 20-21 | 1298 | 279 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 21-22 | 1213 | 258 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 22-23 | 1133 | 239 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 23-24 | 1056 | 220 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 24-25 | 984 | 203 | 2 | 5505 | 2.16 |

**Cenário 3 - Blocos diferentes em intervalos de 100m**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 20-21 | 1298 | 279 | 2 | 4743 | 1.86 |
| 21-22 | 1213 | 258 | 2 | 4743 | 1.86 |
| 22-23 | 1133 | 239 | 2 | 4743 | 1.86 |
| 23-24 | 1056 | 220 | 2 | 4743 | 1.86 |
| 24-25 | 984 | 203 | 2 | 4743 | 1.86 |

**Cenário 4 - Apenas 2 tipos de anéis**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 1 | 3769 | 1.48 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 1 | 3769 | 1.48 |
| 20-21 | 1298 | 279 | 2 | 3769 | 1.48 |
| 21-22 | 1213 | 258 | 2 | 3769 | 1.48 |
| 22-23 | 1133 | 239 | 2 | 3769 | 1.48 |
| 23-24 | 1056 | 220 | 2 | 3769 | 1.48 |
| 24-25 | 984 | 203 | 2 | 3769 | 1.48 |

## Comparação de Resultados

| Cenário | $\sum N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | |
|---|---|---|---|
| [-] | [-] | [$m^3$] | Descrição |
| 1 | 17.64016 | 26 | *Todos os anéis diferentes* |
| 2 | 17.64016 | 38 | *Todos os anéis iguais* |
| 3 | 17.64016 | 34 | *Aneis iguais em intervalos de 100m* |
| 4 | 17.64016 | 31 | *Apenas 2 tipos de anel* |

## Anéis de Afundamento - Zona de Rebetanção

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel | $V_{betão}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] | [$m^3$] |
| 0-1 | 0 | 0 | 2.7 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 1-2 | 0 | 0 | 2.7 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 2-3 | 0 | 0 | 2.7 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 3-4 | 0 | 0 | 2.7 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 4-5 | 0 | 0 | 2.7 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 5-6 | 0 | 0 | 0.7 | 258 | 0.10 | 0.08 |
| 6-7 | 0 | 0 | 0.7 | 258 | 0.10 | 0.08 |
| 7-8 | 0 | 0 | 0.7 | 258 | 0.10 | 0.08 |
| 8-9 | 0 | 0 | 0.7 | 258 | 0.10 | 0.08 |
| 9-10 | 0 | 0 | 0.7 | 258 | 0.10 | 0.08 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $\sum N_{anéis}$ | 17.0 | $V_{total\ betão}$ | 1.72 | [$m^3$] |

**Zona de Rebentação - Proteção de Enrocamento**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_{design}$ | 15 | [s] | *Período de Projeto* |
| S | 2 | [-] | *Nível de estragos admissível* |
| $\gamma_{material}$ | 29 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico dos Blocos* |
| $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $N_{PMAV}$ | 2.9 | [m] | *Nível de Água em Preia Mar* |
| tg $\theta$ | 0.5 | [-] | *Inclinação dos Taludes* |

Proteção de Enrocamento

| $Z_{fundo}$ | $N_{PMAV}$ | $Z_{coroamento}$ | $h_c$ | d | $H_{des}$ | $D_{n50}$ | $W_{van\ der\ Meer}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kN] | [kg] |
| 0 | 2.9 | 1.69 | 1.69 | 2.9 | 0.78 | 0.15 | 0.1 | 0.01 |
| -1 | 2.9 | 0.69 | 1.69 | 3.9 | 1.56 | 0.25 | 0.4 | 0.04 |
| -2 | 2.9 | -0.31 | 1.69 | 4.9 | 2.34 | 0.33 | 1.0 | 0.10 |
| -3 | 2.9 | -1.31 | 1.69 | 5.9 | 3.12 | 0.40 | 1.8 | 0.18 |
| -4 | 2.9 | -2.31 | 1.69 | 6.9 | 3.9 | 0.46 | 2.8 | 0.29 |
| -5 | 2.9 | -3.31 | 1.69 | 7.9 | 4.68 | 0.52 | 4.1 | 0.42 |
| -6 | 2.9 | -4.31 | 1.69 | 8.9 | 5.46 | 0.58 | 5.6 | 0.57 |
| -7 | 2.9 | -5.31 | 1.69 | 9.9 | 6.24 | 0.63 | 7.4 | 0.76 |
| -8 | 2.9 | -6.31 | 1.69 | 10.9 | 7.02 | 0.69 | 9.5 | 0.97 |
| -9 | 2.9 | -7.31 | 1.69 | 11.9 | 7.8 | 0.74 | 11.8 | 1.20 |
| -10 | 2.9 | -8.31 | 1.69 | 12.9 | 8.58 | 0.79 | 14.4 | 1.47 |

Escalonamento

Machico - Proteção de Enrocamento

| $\Delta Z$ | $\Sigma L$ | Trecho | $h_c$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 13.3 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 1-2 | 26.5 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 2-3 | 39.8 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 3-4 | 53.1 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 4-5 | 66.4 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 5-6 | 70.1 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 6-7 | 73.8 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 7-8 | 77.6 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 8-9 | 81.3 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 9-10 | 85.1 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |

| Varíaveis | | |
|---|---|---|
| $T_R$ | [anos] | *Tempo de retorno* |
| $H_{máx}$ | [m] | *Altura máxima de onda* |
| T | [s] | *Período de Onda* |
| L | [m] | *Comprimento de Onda* |
| $(H/L)_{máx}$ | [-] | *Declividade máxima de Miche* |
| $H_{design}$ | [m] | *Altura de Onda de Dimensionamento* |
| $C_D$ | [-] | *Coeficiente de Resistência* |
| $C_M$ | [-] | *Coeficiente de Inércia* |
| $C_L$ | [-] | *Coeficiente de Sustentação* |
| $\gamma_{mar}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $\gamma_{betão}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico do Betão* |
| $\gamma_{PEAD}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da conduta de PEAD* |
| $W_{u.c.}$ | [kg/m] | *Massa Unitária da conduta de PEAD* |
| e | [m] | *Espaçamento entre Anéis* |
| Ø' | [°] | *Ângulo de Atrito da Interface Anel de Betão - Fundo Marítimo* |
| F.S. | [-] | *Fator de Segurança* |
| $F_H$ | [N/m] | *Força Horizontal unitária* |
| $F_V$ | [N/m] | *Força Vertical Unitária* |
| $N_{anéis}$ | [-] | *Número de Anéis de Betão* |
| $W_{anel}$ | [kg] | *Massa de um Anel de Betão* |
| $Z_{fundo}$ | [m] | *Cota do Fundo* |
| $N_{PMAV}$ | [m] | *Nível de água em Preia-Mar* |
| $Z_{coroamento}$ | [m] | *Cota do Coroamento* |
| $h_c$ | [m] | *Altura da Proteção de Enrocamento* |
| d | [m] | *Profundidade* |
| $W_{núcleo}$ | [kg] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Núcleo* |
| $W_{M.R.}$ | [t] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Manto Resistente* |
| $D_{n50}$ | [m] | *Dimensão Média dos Blocos* |

| | |
|---|---|
| ***Projeto:*** | **Emissário Submarino - Solução C** |
| ***Instituição:*** | **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto** |
| ***Data:*** | **Maio/2014** |

U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Características do projeto**

**Caudal de Projeto** 0.042 [$m^3/s$]

**Dados Geométricos**

**Emissário**

*Material* Polietileno de alta densidade

*Diâmetro* 300 [mm]

*Troço Marítimo* 133.5 [m] *Troço Terrestre* 367.7 [m]

**Difusor**

*Profundidade Máxima* 20 [m]

*Comprimento* 20 [m]

*Número de risers* 4 [m]

**Dimensionamento Hidráulico**

**Emissário**

| | | | | Perdas de carga | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{exu}$ | $Q_{desc}$ | $U_{desc}$ | $L_{exu}$ | $\Delta H_{cont}$ | $\Delta H_{cc}$ | $\Delta H_{total\ exu}$ |
| [mm] | [L/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 300 | 42 | 0.594 | 501.2 | 1.20 | 0.01 | 1.21 |

**Cota Piezométrica - ETAR**

| | | |
|---|---|---|
| Cota piezométrica mínima na ETAR | 4.1 | [m] ao ZH! |
| *(se não for possível garantir a cota mencionada o sistema não pode funcionar graviticamente)* | | |

$D_{exu}$ *Diâmetro do exutor;*

$Q_{desc}$ *Caudal descarregado;*

$U_{desc}$ *Velocidade média de escoamento;*

$\Delta H_{cont}$ *Perda de carga contínua;*

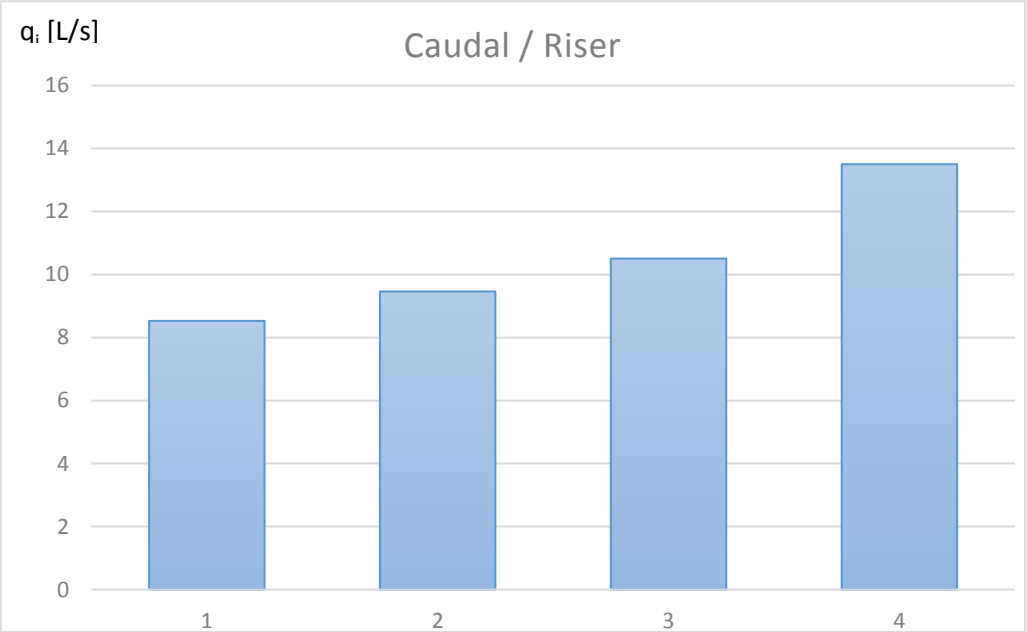
$\Delta H_{CC}$ *Perda de carga localizada à saida da câmara de carga*

$\Delta H_{total\ exu}$ *Perda de carga global no exutor*

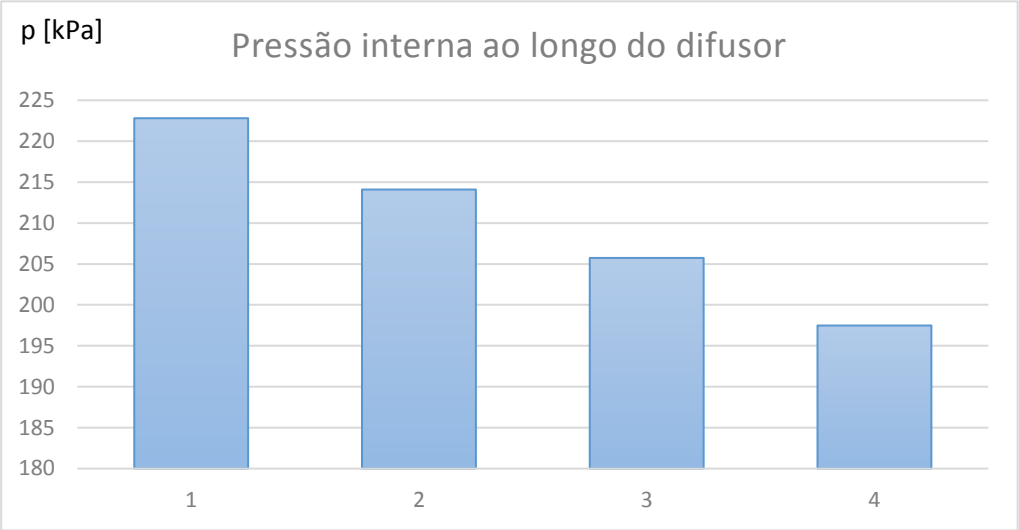
**Comportamento Hidráulico**

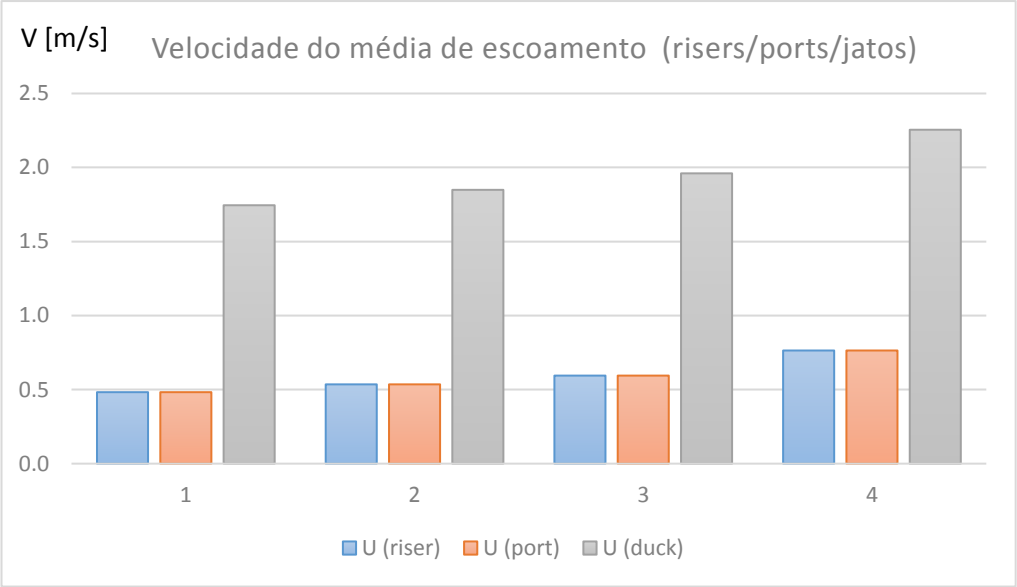
**Difusor**

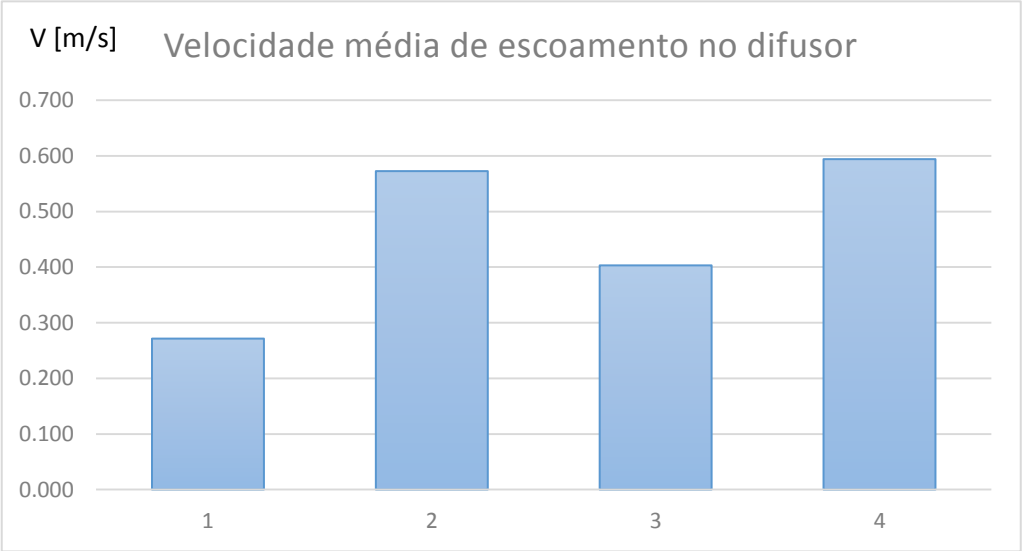
| Riser | q | P | $P/\gamma_{MAR}$ | $U_{dif}$ | $U_{riser}$ | $U_{port}$ | $U_{duck}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [L/s] | [kPa] | [m] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m/s] |
| 1 | 8.53 | 222.81 | 22.20 | 0.271 | 0.483 | 0.483 | 1.745 |
| 2 | 9.46 | 214.09 | 21.33 | 0.573 | 0.535 | 0.535 | 1.849 |
| 3 | 10.51 | 205.74 | 20.50 | 0.403 | 0.595 | 0.595 | 1.961 |
| 4 | 13.50 | 197.48 | 19.68 | 0.594 | 0.764 | 0.764 | 2.255 |
| $\sum$ | 42.00 | | | | | | |




| | |
|---|---|
| q | *Caudal descarregado em cada riser* |
| P | *Pressão relativa (eixo do difusor)* |
| $U_{dif}$ | *Velocidade média de escoamento - Difusor* |
| $U_{riser}$ | *Velocidade média de escoamento - Riser* |
| $U_{port}$ | *Velocidade média de escoamento - Porta* |
| $U_{duck}$ | *Velocidade média de escoamento - Válvula "Duckill"* |


p [kPa]
Pressão interna ao longo do difusor
225
220
215
210
205
200
195
190
185
180
1
2
3
4


V [m/s]
Velocidade do média de escoamento (risers/ports/jatos)
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
1
2
3
4
U (riser)
U (port)
U (duck)


V [m/s]
Velocidade média de escoamento no difusor
0.700
0.600
0.500
0.400
0.300
0.200
0.100
0.000
1
2
3
4

**Intrusão salina (durante a descarga)**

| Riser | qi | ui (jato) | Dp,i | Fr | Intrusão |
|---|---|---|---|---|---|
| | [l/s] | [m/s] | [m] | [-] | |
| 1 | 8.5 | 1.75 | 0.15 | 9.1 | Ok! |
| 2 | 9.5 | 1.85 | 0.15 | 9.6 | Ok! |
| 3 | 10.5 | 1.96 | 0.15 | 10.2 | Ok! |
| 4 | 13.5 | 2.26 | 0.15 | 11.7 | Ok! |

Não existem problemas de intrusão salina

**Eficiência Ambiental**

**Diluição / Dispersão / Die-off**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $D_i$ | 2018.79 | [-] | *Diluição inicial* |
| $D_h$ | 1.08807 | [-] | *Dispersão horizontal* |
| $D_b$ | 1.204593 | [-] | *Die-Off* |

| **Descarga** | | | | **Costa** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{totais}$ | 1.00E+07 | [un/dia] | → | $C_{totais}$ | 3779.3001 | [un/dia] |
| $C_{fecais}$ | 1.00E+06 | [un/dia] | → | $C_{fecais}$ | 377.93001 | [un/dia] |

**Dimensionamento Estrutural**

**Características da agitação marítima**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_R$ | 100 | [anos] | *Período de Retorno* |
| $H_{des}$ | 8.5 | [m] | *Altura de Onda de Projeto* |
| $T_{des}$ | 9 | [s] | *Período de Projeto* |
| $L_0$ | 126 | [m] | *Comprimento de Onda* |

| Zona de Rebentação | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Batimétrica | $(H/L_0)_{MÁX}$ | $H_{MÁXMiche}$ | 0.78*d | $H_{design}$ | Rebentação |
| [m] | [-] | [m] | [m] | [m] | |
| 1 | 0.0070 | 0.89 | 0.78 | 0.78 | Zona de Rebentação |
| 2 | 0.0140 | 1.78 | 1.56 | 1.56 | Zona de Rebentação |
| 3 | 0.0210 | 2.65 | 2.34 | 2.34 | Zona de Rebentação |
| 4 | 0.0278 | 3.52 | 3.12 | 3.12 | Zona de Rebentação |
| 5 | 0.0345 | 4.37 | 3.90 | 3.9 | Zona de Rebentação |
| 6 | 0.0411 | 5.19 | 4.68 | 4.68 | Zona de Rebentação |
| 7 | 0.0474 | 6.00 | 5.46 | 5.46 | Zona de Rebentação |
| 8 | 0.0536 | 6.77 | 6.24 | 6.24 | Zona de Rebentação |
| 9 | 0.0595 | 7.52 | 7.02 | 7.02 | Zona de Rebentação |
| 10 | 0.0652 | 8.24 | 7.80 | 7.8 | Zona de Rebentação |
| 11 | 0.0706 | 8.93 | 8.58 | 8.5 | Ok |
| 12 | 0.0758 | 9.58 | 9.36 | 8.5 | Ok |
| 13 | 0.0807 | 10.20 | 10.14 | 8.5 | Ok |
| 14 | 0.0853 | 10.79 | 10.92 | 8.5 | Ok |
| 15 | 0.0897 | 11.34 | 11.70 | 8.5 | Ok |
| 16 | 0.0938 | 11.86 | 12.48 | 8.5 | Ok |
| 17 | 0.0976 | 12.34 | 13.26 | 8.5 | Ok |
| 18 | 0.1012 | 12.80 | 14.04 | 8.5 | Ok |
| 19 | 0.1045 | 13.22 | 14.82 | 8.5 | Ok |
| 20 | 0.1076 | 13.61 | 15.60 | 8.5 | Ok |
| 21 | 0.1105 | 13.97 | 16.38 | 8.5 | Ok |
| 22 | 0.1132 | 14.31 | 17.16 | 8.5 | Ok |
| 23 | 0.1156 | 14.62 | 17.94 | 8.5 | Ok |
| 24 | 0.1179 | 14.91 | 18.72 | 8.5 | Ok |
| 25 | 0.1200 | 15.17 | 19.50 | 8.5 | Ok |
| 26 | 0.1219 | 15.41 | 20.28 | 8.5 | Ok |
| 27 | 0.1237 | 15.64 | 21.06 | 8.5 | Ok |
| 28 | 0.1253 | 15.84 | 21.84 | 8.5 | Ok |
| 29 | 0.1267 | 16.03 | 22.62 | 8.5 | Ok |
| 30 | 0.1281 | 16.20 | 23.40 | 8.5 | Ok |

| Dimensionamento de anéis de betão | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CD | 2 | | $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | | e | 5 | [m] |
| CM | 2 | | $\gamma_{betão}$ | 25 | [kN/m$^3$] | | Ø' | 30 | [$^o$] |
| CL | 1 | | $\gamma_{PEAD}$ | 8.829 | [kN/m$^3$] | | F.S. | 1.5 | [-] |
| | | | $W_{u.c.}$ | 14.3 | [kg/m] | | kN/m | | |

**Cenário 1 - Solução optimizada, Todos os anéis diferentes**

| $\triangle$Z | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [m$^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 1 | 5254 | 2.06 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 1 | 4999 | 1.96 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 1 | 4488 | 1.76 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 1 | 4240 | 1.66 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 1 | 4002 | 1.57 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 1 | 3769 | 1.48 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 1 | 3545 | 1.39 |

**Cenário 2 - Todos os anéis iguais**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 1 | 5505 | 2.16 |

**Cenário 3 - Blocos diferentes em intervalos de 100m**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 1 | 4743 | 1.86 |

**Cenário 4 - Apenas 2 tipos de anéis**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 1 | 4743 | 1.86 |

## Comparação de Resultados

| Cenário | $\sum N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | |
|---|---|---|---|
| [-] | [-] | [$m^3$] | Descrição |
| 1 | 9.359954 | 16 | *Todos os anéis diferentes* |
| 2 | 9.359954 | 20 | *Todos os anéis iguais* |
| 3 | 9.359954 | 18 | *Aneis iguais em intervalos de 100m* |
| 4 | 9.359954 | 18 | *Apenas 2 tipos de anel* |

## Anéis de Afundamento - Zona de Rebetanção

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel | $V_{betão}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] | [$m^3$] |
| 0-1 | 0 | 0 | 2.7 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 1-2 | 0 | 0 | 2.7 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 2-3 | 0 | 0 | 2.7 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 3-4 | 0 | 0 | 2.7 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 4-5 | 0 | 0 | 2.7 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 5-6 | 0 | 0 | 0.7 | 258 | 0.10 | 0.08 |
| 6-7 | 0 | 0 | 0.7 | 258 | 0.10 | 0.08 |
| 7-8 | 0 | 0 | 0.7 | 258 | 0.10 | 0.08 |
| 8-9 | 0 | 0 | 0.7 | 258 | 0.10 | 0.08 |
| 9-10 | 0 | 0 | 0.7 | 258 | 0.10 | 0.08 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $\sum N_{anéis}$ | 17.0 | $V_{total\ betão}$ | 1.72 | [$m^3$] |

**Zona de Rebentação - Proteção de Enrocamento**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_{design}$ | 15 | [s] | *Período de Projeto* |
| S | 2 | [-] | *Nível de estragos admissível* |
| $\gamma_{material}$ | 29 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico dos Blocos* |
| $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $N_{PMAV}$ | 2.9 | [m] | *Nível de Água em Preia Mar* |
| tg $\theta$ | 0.5 | [-] | *Inclinação dos Taludes* |

Proteção de Enrocamento

| $Z_{fundo}$ | $N_{PMAV}$ | $Z_{coroamento}$ | $h_c$ | d | $H_{des}$ | $D_{n50}$ | $W_{van\ der\ Meer}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kN] | [kg] |
| 0 | 2.9 | 1.69 | 1.69 | 2.9 | 0.78 | 0.15 | 0.1 | 0.01 |
| -1 | 2.9 | 0.69 | 1.69 | 3.9 | 1.56 | 0.25 | 0.4 | 0.04 |
| -2 | 2.9 | -0.31 | 1.69 | 4.9 | 2.34 | 0.33 | 1.0 | 0.10 |
| -3 | 2.9 | -1.31 | 1.69 | 5.9 | 3.12 | 0.40 | 1.8 | 0.18 |
| -4 | 2.9 | -2.31 | 1.69 | 6.9 | 3.9 | 0.46 | 2.8 | 0.29 |
| -5 | 2.9 | -3.31 | 1.69 | 7.9 | 4.68 | 0.52 | 4.1 | 0.42 |
| -6 | 2.9 | -4.31 | 1.69 | 8.9 | 5.46 | 0.58 | 5.6 | 0.57 |
| -7 | 2.9 | -5.31 | 1.69 | 9.9 | 6.24 | 0.63 | 7.4 | 0.76 |
| -8 | 2.9 | -6.31 | 1.69 | 10.9 | 7.02 | 0.69 | 9.5 | 0.97 |
| -9 | 2.9 | -7.31 | 1.69 | 11.9 | 7.8 | 0.74 | 11.8 | 1.20 |
| -10 | 2.9 | -8.31 | 1.69 | 12.9 | 8.58 | 0.79 | 14.4 | 1.47 |

Escalonamento

Machico - Proteção de Enrocamento

| $\Delta Z$ | $\Sigma L$ | Trecho | $h_c$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 13.3 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 1-2 | 26.5 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 2-3 | 39.8 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 3-4 | 53.1 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 4-5 | 66.4 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 5-6 | 70.1 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 6-7 | 73.8 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 7-8 | 77.6 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 8-9 | 81.3 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 9-10 | 85.1 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |

| Varíaveis | | |
|---|---|---|
| $T_R$ | [anos] | *Tempo de retorno* |
| $H_{máx}$ | [m] | *Altura máxima de onda* |
| T | [s] | *Período de Onda* |
| L | [m] | *Comprimento de Onda* |
| $(H/L)_{máx}$ | [-] | *Declividade máxima de Miche* |
| $H_{design}$ | [m] | *Altura de Onda de Dimensionamento* |
| $C_D$ | [-] | *Coeficiente de Resistência* |
| $C_M$ | [-] | *Coeficiente de Inércia* |
| $C_L$ | [-] | *Coeficiente de Sustentação* |
| $\gamma_{mar}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $\gamma_{betão}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico do Betão* |
| $\gamma_{PEAD}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da conduta de PEAD* |
| $W_{u.c.}$ | [kg/m] | *Massa Unitária da conduta de PEAD* |
| e | [m] | *Espaçamento entre Anéis* |
| Ø' | [°] | *Ângulo de Atrito da Interface Anel de Betão - Fundo Marítimo* |
| F.S. | [-] | *Fator de Segurança* |
| $F_H$ | [N/m] | *Força Horizontal unitária* |
| $F_V$ | [N/m] | *Força Vertical Unitária* |
| $N_{anéis}$ | [-] | *Número de Anéis de Betão* |
| $W_{anel}$ | [kg] | *Massa de um Anel de Betão* |
| $Z_{fundo}$ | [m] | *Cota do Fundo* |
| $N_{PMAV}$ | [m] | *Nível de água em Preia-Mar* |
| $Z_{coroamento}$ | [m] | *Cota do Coroamento* |
| $h_c$ | [m] | *Altura da Proteção de Enrocamento* |
| d | [m] | *Profundidade* |
| $W_{núcleo}$ | [kg] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Núcleo* |
| $W_{M.R.}$ | [t] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Manto Resistente* |
| $D_{n50}$ | [m] | *Dimensão Média dos Blocos* |

| | |
|---|---|
| ***Projeto:*** | **Emissário Submarino de Machico - Solução D** |
| ***Instituição:*** | **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto** |
| ***Data:*** | **Maio/2014** |

U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Características do projeto**

**Caudal de Projeto** 0.042 [$m^3/s$]

**Dados Geométricos**

**Emissário**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| *Material* | Polietileno de alta densidade | | | | |
| *Diâmetro* | 300 | [mm] | | | |
| *Troço Marítimo* | 174.9 | [m] | *Troço Terrestre* | 367.7 | [m] |

**Difusor**

| | | |
|---|---|---|
| *Profundidade Máxima* | 25 | [m] |
| *Comprimento* | 40 | [m] |
| *Número de risers* | 4 | [m] |

**Dimensionamento Hidráulico**

**Emissário**

| | | | | Perdas de carga | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{exu}$ | $Q_{desc}$ | $U_{desc}$ | $L_{exu}$ | $\Delta H_{cont}$ | $\Delta H_{cc}$ | $\Delta H_{total\ exu}$ |
| [mm] | [L/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 300 | 42 | 0.594 | 542.6 | 1.30 | 0.01 | 1.31 |

**Cota Piezométrica - ETAR**

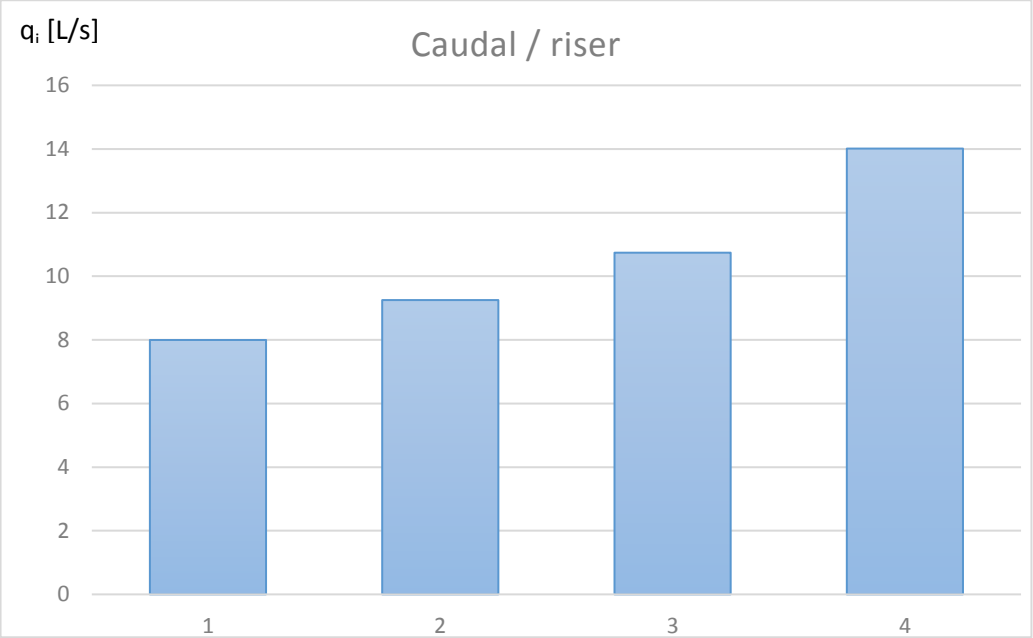
| | | |
|---|---|---|
| Cota piezométrica mínima na ETAR | 4.3 | [m] ao ZH! |
| *(se não for possível garantir a cota mencionada o sistema não pode funcionar graviticamente)* | | |

| | |
|---|---|
| $D_{exu}$ | *Diâmetro do exutor;* |
| $Q_{desc}$ | *Caudal descarregado;* |
| $U_{desc}$ | *Velocidade média de escoamento;* |
| $\Delta H_{cont}$ | *Perda de carga contínua;* |
| $\Delta H_{CC}$ | *Perda de carga localizada à saida da câmara de carga* |
| $\Delta H_{total\ exu}$ | *Perda de carga global no exutor* |

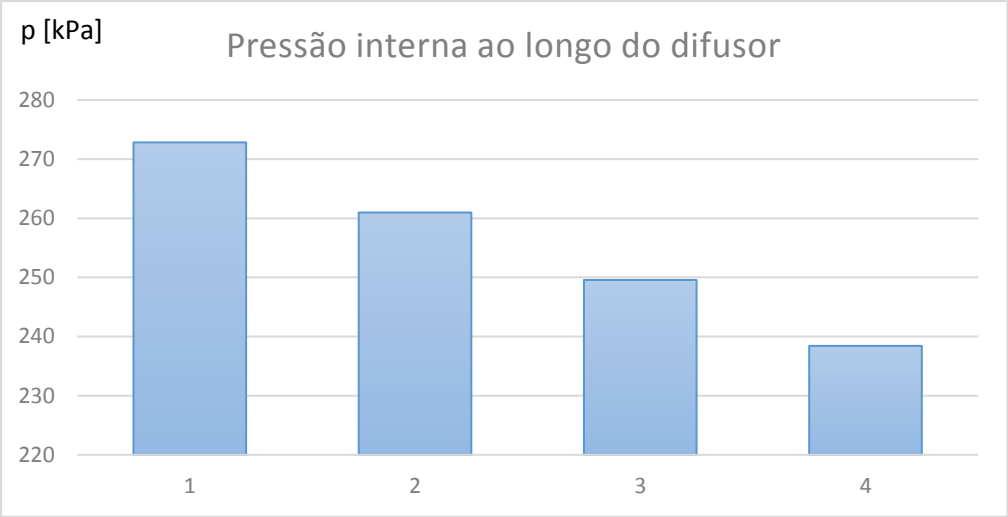
**Comportamento Hidráulico**

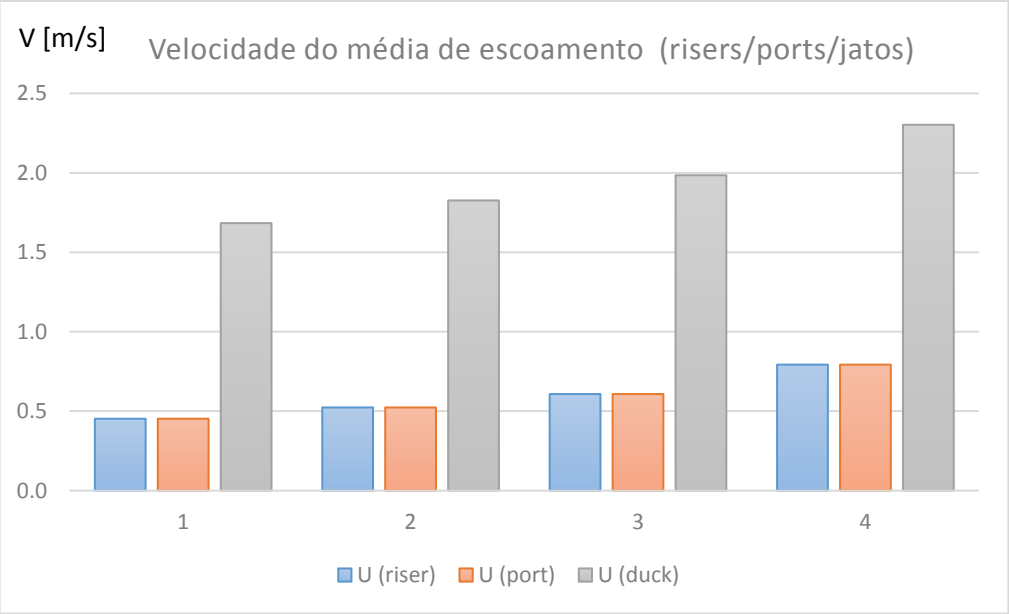
**Difusor**

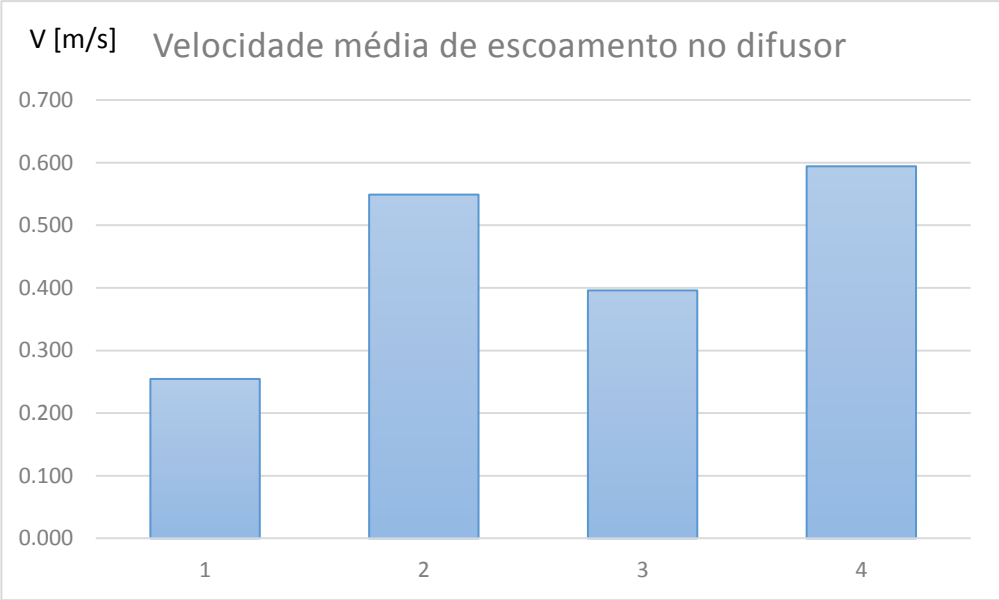
| Riser | q | P | $P/\gamma_{MAR}$ | $U_{dif}$ | $U_{riser}$ | $U_{port}$ | $U_{duck}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [L/s] | [kPa] | [m] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m/s] |
| 1 | 8.00 | 272.83 | 27.19 | 0.255 | 0.452 | 0.452 | 1.683 |
| 2 | 9.25 | 260.98 | 26.00 | 0.549 | 0.523 | 0.523 | 1.826 |
| 3 | 10.74 | 249.57 | 24.87 | 0.396 | 0.608 | 0.608 | 1.985 |
| 4 | 14.01 | 238.42 | 23.76 | 0.594 | 0.793 | 0.793 | 2.302 |
| $\sum$ | 42.00 | | | | | | |




| | |
|---|---|
| q | *Caudal descarregado em cada riser* |
| P | *Pressão relativa (eixo do difusor)* |
| $U_{dif}$ | *Velocidade média de escoamento - Difusor* |
| $U_{riser}$ | *Velocidade média de escoamento - Riser* |
| $U_{port}$ | *Velocidade média de escoamento - Porta* |
| $U_{duck}$ | *Velocidade média de escoamento - Válvula "Duckill"* |


p [kPa]
Pressão interna ao longo do difusor
280
270
260
250
240
230
220
1
2
3
4


V [m/s]
Velocidade do média de escoamento (risers/ports/jatos)
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
1
2
3
4
U (riser)
U (port)
U (duck)


V [m/s]
Velocidade média de escoamento no difusor
0.700
0.600
0.500
0.400
0.300
0.200
0.100
0.000
1
2
3
4

**Intrusão salina (durante a descarga)**

| Riser | qi | ui (jato) | Dp,i | Fr | Intrusão |
|---|---|---|---|---|---|
| | [l/s] | [m/s] | [m] | [-] | |
| 1 | 8.0 | 1.68 | 0.15 | 8.8 | Ok! |
| 2 | 9.3 | 1.83 | 0.15 | 9.5 | Ok! |
| 3 | 10.7 | 1.98 | 0.15 | 10.3 | Ok! |
| 4 | 14.0 | 2.30 | 0.15 | 12.0 | Ok! |

Não existem problemas de intrusão salina

**Eficiência Ambiental**

**Diluição / Dispersão / Die-off**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $D_i$ | 6267.903 | [-] | *Diluição inicial* |
| $D_h$ | 1.057889 | [-] | *Dispersão horizontal* |
| $D_b$ | 1.247621 | [-] | *Die-Off* |

| **Descarga** | | | | **Costa** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{totais}$ | 1.00E+07 | [un/dia] | → | $C_{totais}$ | 1208.8015 | [un/dia] |
| $C_{fecais}$ | 1.00E+06 | [un/dia] | → | $C_{fecais}$ | 120.88015 | [un/dia] |

**Dimensionamento Estrutural**

**Características da agitação marítima**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_R$ | 100 | [anos] | *Período de Retorno* |
| $H_{des}$ | 8.5 | [m] | *Altura de Onda de Projeto* |
| $T_{des}$ | 9 | [s] | *Período de Projeto* |
| $L_0$ | 126 | [m] | *Comprimento de Onda* |

| Zona de Rebentação | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Batimétrica | $(H/L_0)_{MÁX}$ | $H_{MÁXMiche}$ | 0.78*d | $H_{design}$ | Rebentação |
| [m] | [-] | [m] | [m] | [m] | |
| 1 | 0.0070 | 0.89 | 0.78 | 0.78 | Zona de Rebentação |
| 2 | 0.0140 | 1.78 | 1.56 | 1.56 | Zona de Rebentação |
| 3 | 0.0210 | 2.65 | 2.34 | 2.34 | Zona de Rebentação |
| 4 | 0.0278 | 3.52 | 3.12 | 3.12 | Zona de Rebentação |
| 5 | 0.0345 | 4.37 | 3.90 | 3.9 | Zona de Rebentação |
| 6 | 0.0411 | 5.19 | 4.68 | 4.68 | Zona de Rebentação |
| 7 | 0.0474 | 6.00 | 5.46 | 5.46 | Zona de Rebentação |
| 8 | 0.0536 | 6.77 | 6.24 | 6.24 | Zona de Rebentação |
| 9 | 0.0595 | 7.52 | 7.02 | 7.02 | Zona de Rebentação |
| 10 | 0.0652 | 8.24 | 7.80 | 7.8 | Zona de Rebentação |
| 11 | 0.0706 | 8.93 | 8.58 | 8.5 | Ok |
| 12 | 0.0758 | 9.58 | 9.36 | 8.5 | Ok |
| 13 | 0.0807 | 10.20 | 10.14 | 8.5 | Ok |
| 14 | 0.0853 | 10.79 | 10.92 | 8.5 | Ok |
| 15 | 0.0897 | 11.34 | 11.70 | 8.5 | Ok |
| 16 | 0.0938 | 11.86 | 12.48 | 8.5 | Ok |
| 17 | 0.0976 | 12.34 | 13.26 | 8.5 | Ok |
| 18 | 0.1012 | 12.80 | 14.04 | 8.5 | Ok |
| 19 | 0.1045 | 13.22 | 14.82 | 8.5 | Ok |
| 20 | 0.1076 | 13.61 | 15.60 | 8.5 | Ok |
| 21 | 0.1105 | 13.97 | 16.38 | 8.5 | Ok |
| 22 | 0.1132 | 14.31 | 17.16 | 8.5 | Ok |
| 23 | 0.1156 | 14.62 | 17.94 | 8.5 | Ok |
| 24 | 0.1179 | 14.91 | 18.72 | 8.5 | Ok |
| 25 | 0.1200 | 15.17 | 19.50 | 8.5 | Ok |
| 26 | 0.1219 | 15.41 | 20.28 | 8.5 | Ok |
| 27 | 0.1237 | 15.64 | 21.06 | 8.5 | Ok |
| 28 | 0.1253 | 15.84 | 21.84 | 8.5 | Ok |
| 29 | 0.1267 | 16.03 | 22.62 | 8.5 | Ok |
| 30 | 0.1281 | 16.20 | 23.40 | 8.5 | Ok |

| Dimensionamento de anéis de betão | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CD | 2 | | $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | | e | 5 | [m] |
| CM | 2 | | $\gamma_{betão}$ | 25 | [kN/m$^3$] | | Ø' | 30 | [$^o$] |
| CL | 1 | | $\gamma_{PEAD}$ | 8.829 | [kN/m$^3$] | | F.S. | 1.5 | [-] |
| | | | $W_{u.c.}$ | 0.140283 | [kg/m] | | kN/m | | |

**Cenário 1 - Solução optimizada, Todos os anéis diferentes**

| $\triangle$Z | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [m$^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 1 | 5254 | 2.06 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 1 | 4999 | 1.96 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 1 | 4488 | 1.76 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 1 | 4240 | 1.66 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 1 | 4002 | 1.57 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 1 | 3769 | 1.48 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 1 | 3545 | 1.39 |
| 20-21 | 1298 | 279 | 2 | 3328 | 1.31 |
| 21-22 | 1213 | 258 | 2 | 3121 | 1.22 |
| 22-23 | 1133 | 239 | 2 | 2923 | 1.15 |
| 23-24 | 1056 | 220 | 2 | 2736 | 1.07 |
| 24-25 | 984 | 203 | 2 | 2558 | 1.00 |

**Cenário 2 - Todos os anéis iguais**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 20-21 | 1298 | 279 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 21-22 | 1213 | 258 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 22-23 | 1133 | 239 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 23-24 | 1056 | 220 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 24-25 | 984 | 203 | 2 | 5505 | 2.16 |

**Cenário 3 - Blocos diferentes em intervalos de 100m**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 1 | 4743 | 1.86 |
| 20-21 | 1298 | 279 | 2 | 4743 | 1.86 |
| 21-22 | 1213 | 258 | 2 | 4743 | 1.86 |
| 22-23 | 1133 | 239 | 2 | 4743 | 1.86 |
| 23-24 | 1056 | 220 | 2 | 4743 | 1.86 |
| 24-25 | 984 | 203 | 2 | 4743 | 1.86 |

**Cenário 4 - Apenas 2 tipos de anéis**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 15-16 | 1770 | 394 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 16-17 | 1669 | 370 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 17-18 | 1572 | 346 | 1 | 5505 | 2.16 |
| 18-19 | 1477 | 323 | 1 | 3769 | 1.48 |
| 19-20 | 1386 | 300 | 1 | 3769 | 1.48 |
| 20-21 | 1298 | 279 | 2 | 3769 | 1.48 |
| 21-22 | 1213 | 258 | 2 | 3769 | 1.48 |
| 22-23 | 1133 | 239 | 2 | 3769 | 1.48 |
| 23-24 | 1056 | 220 | 2 | 3769 | 1.48 |
| 24-25 | 984 | 203 | 2 | 3769 | 1.48 |

## Comparação de Resultados

| Cenário | $\sum N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | |
|---|---|---|---|
| [-] | [-] | [$m^3$] | Descrição |
| 1 | 17.64016 | 26 | *Todos os anéis diferentes* |
| 2 | 17.64016 | 38 | *Todos os anéis iguais* |
| 3 | 17.64016 | 34 | *Aneis iguais em intervalos de 100m* |
| 4 | 17.64016 | 31 | *Apenas 2 tipos de anel* |

## Anéis de Afundamento - Zona de Rebetanção

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel | $V_{betão}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] | [$m^3$] |
| 0-1 | 0 | 0 | 2.7 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 1-2 | 0 | 0 | 2.7 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 2-3 | 0 | 0 | 2.7 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 3-4 | 0 | 0 | 2.7 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 4-5 | 0 | 0 | 2.7 | 258 | 0.10 | 0.27 |
| 5-6 | 0 | 0 | 0.7 | 258 | 0.10 | 0.08 |
| 6-7 | 0 | 0 | 0.7 | 258 | 0.10 | 0.08 |
| 7-8 | 0 | 0 | 0.7 | 258 | 0.10 | 0.08 |
| 8-9 | 0 | 0 | 0.7 | 258 | 0.10 | 0.08 |
| 9-10 | 0 | 0 | 0.7 | 258 | 0.10 | 0.08 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $\sum N_{anéis}$ | 17.0 | $V_{total\ betão}$ | 1.72 | [$m^3$] |

## Zona de Rebentação - Proteção de Enrocamento

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_{design}$ | 15 | [s] | *Período de Projeto* |
| S | 2 | [-] | *Nível de estragos admissível* |
| $\gamma_{material}$ | 29 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico dos Blocos* |
| $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $N_{PMAV}$ | 2.9 | [m] | *Nível de Água em Preia Mar* |
| tg $\theta$ | 0.5 | [-] | *Inclinação dos Taludes* |

Proteção de Enrocamento

| $Z_{fundo}$ | $N_{PMAV}$ | $Z_{coroamento}$ | $h_c$ | d | $H_{des}$ | $D_{n50}$ | $W_{van\ der\ Meer}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kN] | [kg] |
| 0 | 2.9 | 1.69 | 1.69 | 2.9 | 0.78 | 0.15 | 0.1 | 0.01 |
| -1 | 2.9 | 0.69 | 1.69 | 3.9 | 1.56 | 0.25 | 0.4 | 0.04 |
| -2 | 2.9 | -0.31 | 1.69 | 4.9 | 2.34 | 0.33 | 1.0 | 0.10 |
| -3 | 2.9 | -1.31 | 1.69 | 5.9 | 3.12 | 0.40 | 1.8 | 0.18 |
| -4 | 2.9 | -2.31 | 1.69 | 6.9 | 3.9 | 0.46 | 2.8 | 0.29 |
| -5 | 2.9 | -3.31 | 1.69 | 7.9 | 4.68 | 0.52 | 4.1 | 0.42 |
| -6 | 2.9 | -4.31 | 1.69 | 8.9 | 5.46 | 0.58 | 5.6 | 0.57 |
| -7 | 2.9 | -5.31 | 1.69 | 9.9 | 6.24 | 0.63 | 7.4 | 0.76 |
| -8 | 2.9 | -6.31 | 1.69 | 10.9 | 7.02 | 0.69 | 9.5 | 0.97 |
| -9 | 2.9 | -7.31 | 1.69 | 11.9 | 7.8 | 0.74 | 11.8 | 1.20 |
| -10 | 2.9 | -8.31 | 1.69 | 12.9 | 8.58 | 0.79 | 14.4 | 1.47 |

Escalonamento

Machico - Proteção de Enrocamento

| $\Delta Z$ | $\Sigma L$ | Trecho | $h_c$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 13.3 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 1-2 | 26.5 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 2-3 | 39.8 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 3-4 | 53.1 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 4-5 | 66.4 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 5-6 | 70.1 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 6-7 | 73.8 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 7-8 | 77.6 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 8-9 | 81.3 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 9-10 | 85.1 | 1 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |

| Varíaveis | | |
|---|---|---|
| $T_R$ | [anos] | *Tempo de retorno* |
| $H_{máx}$ | [m] | *Altura máxima de onda* |
| T | [s] | *Período de Onda* |
| L | [m] | *Comprimento de Onda* |
| $(H/L)_{máx}$ | [-] | *Declividade máxima de Miche* |
| $H_{design}$ | [m] | *Altura de Onda de Dimensionamento* |
| $C_D$ | [-] | *Coeficiente de Resistência* |
| $C_M$ | [-] | *Coeficiente de Inércia* |
| $C_L$ | [-] | *Coeficiente de Sustentação* |
| $\gamma_{mar}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $\gamma_{betão}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico do Betão* |
| $\gamma_{PEAD}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da conduta de PEAD* |
| $W_{u.c.}$ | [kg/m] | *Massa Unitária da conduta de PEAD* |
| e | [m] | *Espaçamento entre Anéis* |
| Ø' | [°] | *Ângulo de Atrito da Interface Anel de Betão - Fundo Marítimo* |
| F.S. | [-] | *Fator de Segurança* |
| $F_H$ | [N/m] | *Força Horizontal unitária* |
| $F_V$ | [N/m] | *Força Vertical Unitária* |
| $N_{anéis}$ | [-] | *Número de Anéis de Betão* |
| $W_{anel}$ | [kg] | *Massa de um Anel de Betão* |
| $Z_{fundo}$ | [m] | *Cota do Fundo* |
| $N_{PMAV}$ | [m] | *Nível de água em Preia-Mar* |
| $Z_{coroamento}$ | [m] | *Cota do Coroamento* |
| $h_c$ | [m] | *Altura da Proteção de Enrocamento* |
| d | [m] | *Profundidade* |
| $W_{núcleo}$ | [kg] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Núcleo* |
| $W_{M.R.}$ | [t] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Manto Resistente* |
| $D_{n50}$ | [m] | *Dimensão Média dos Blocos* |

| | |
|---|---|
| ***Projeto:*** | **Emissário Submarino de Porto da Cruz - Solução A** |
| ***Instituição:*** | **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto** |
| ***Data:*** | **Maio/2014** |

U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Características do projeto**

**Caudal de Projeto** 0.0217 [$m^3/s$]

**Dados Geométricos**

**Emissário**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| *Material* | Polietileno de alta densidade | | | | |
| *Diâmetro* | 200 | [mm] | | | |
| *Troço Marítimo* | 326.366 | [m] | *Troço Terrestre* | 122.08 | [m] |

**Difusor**

| | | |
|---|---|---|
| *Profundidade Máxima* | 10 | [m] |
| *Comprimento* | 5 | [m] |
| *Número de risers* | 2 | [m] |

**Dimensionamento Hidráulico**

**Emissário**

| | | | | Perdas de carga | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{exu}$ | $Q_{desc}$ | $U_{desc}$ | $L_{exu}$ | $\Delta H_{cont}$ | $\Delta H_{cc}$ | $\Delta H_{total\ exu}$ |
| [mm] | [L/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 200 | 22 | 0.691 | 448.446 | 2.81 | 0.01 | 2.82 |

**Cota piezométrica - ETAR**

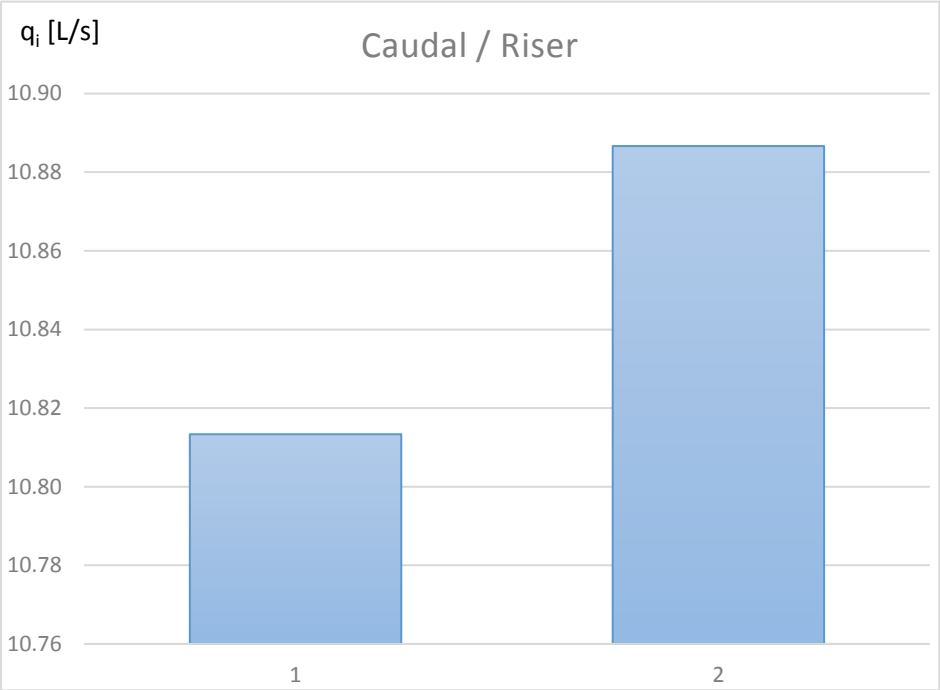
| | | |
|---|---|---|
| Cota piezométrica mínima na ETAR | 3.9 | [m] ao ZH! |
| *(se não for possível garantir a cota mencionada o sistema não pode funcionar graviticamente)* | | |

| | |
|---|---|
| $D_{exu}$ | *Diâmetro do exutor;* |
| $Q_{desc}$ | *Caudal descarregado;* |
| $U_{desc}$ | *Velocidade média de escoamento;* |
| $\Delta H_{cont}$ | *Perda de carga contínua;* |
| $\Delta H_{CC}$ | *Perda de carga localizada à saida da câmara de carga* |
| $\Delta H_{total\ exu}$ | *Perda de carga global no exutor* |

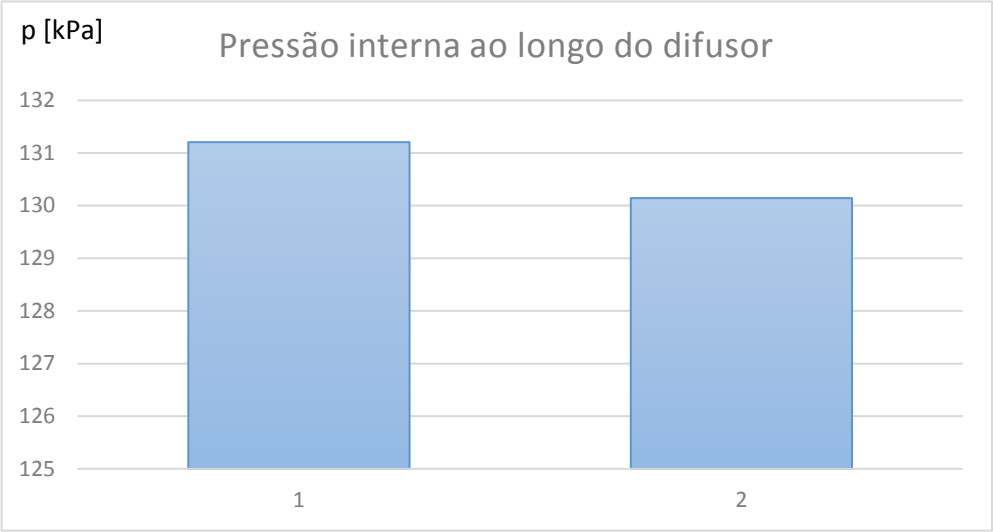
**Comportamento Hidráulico**

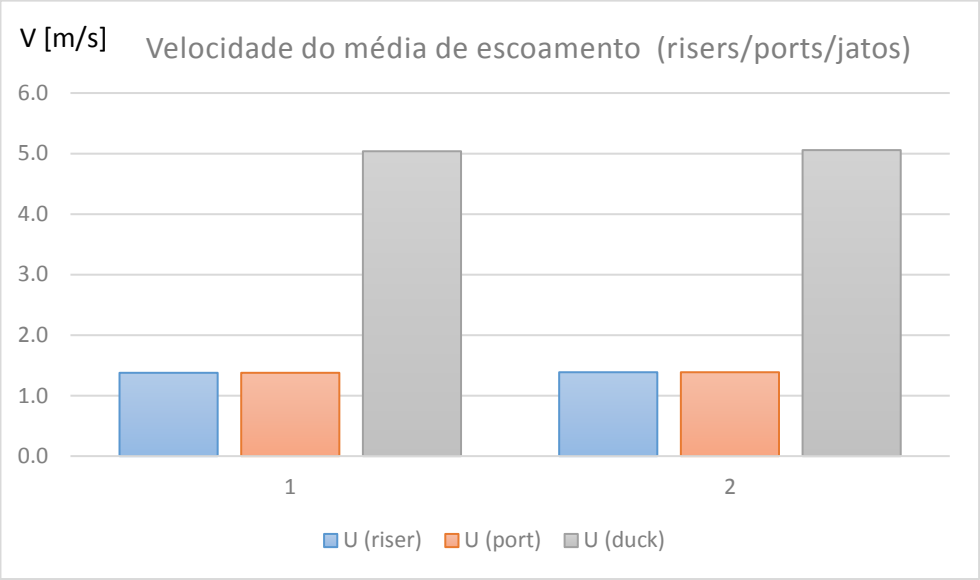
**Difusor**

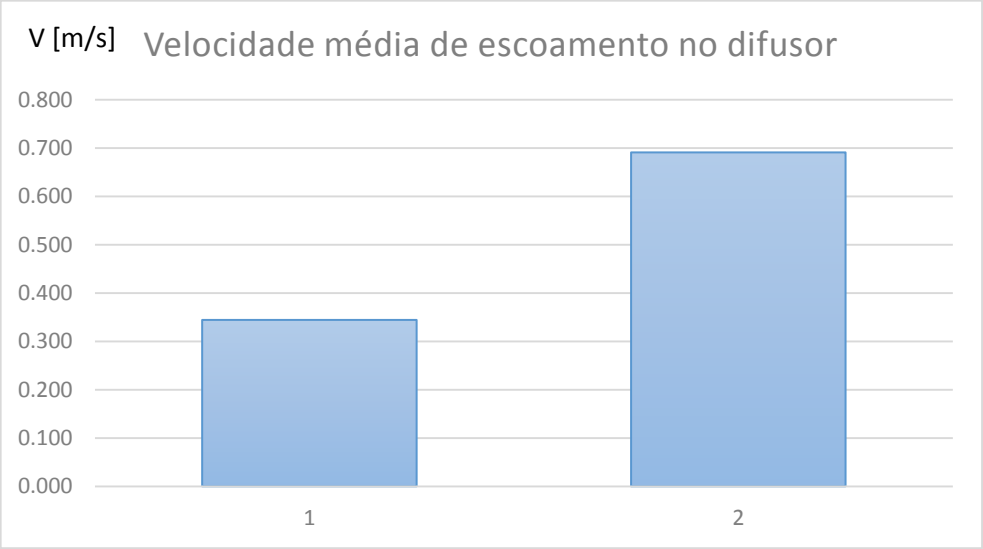
| Riser | q | P | $P/\gamma_{MAR}$ | $U_{dif}$ | $U_{riser}$ | $U_{port}$ | $U_{duck}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [L/s] | [kPa] | [m] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m/s] |
| 1 | 10.81 | 131.21 | 13.07 | 0.344 | 1.377 | 1.377 | 5.038 |
| 2 | 10.89 | 130.14 | 12.97 | 0.691 | 1.386 | 1.386 | 5.057 |
| $\sum$ | 21.70 | | | | | | |




| | |
|---|---|
| q | *Caudal descarregado em cada riser* |
| P | *Pressão relativa (eixo do difusor)* |
| $U_{dif}$ | *Velocidade média de escoamento - Difusor* |
| $U_{riser}$ | *Velocidade média de escoamento - Riser* |
| $U_{port}$ | *Velocidade média de escoamento - Porta* |
| $U_{duck}$ | *Velocidade média de escoamento - Válvula "Duckill"* |


p [kPa]
Pressão interna ao longo do difusor
132
131
130
129
128
127
126
125
1
2


V [m/s]
Velocidade do média de escoamento (risers/ports/jatos)
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
1
2
U (riser)
U (port)
U (duck)


V [m/s]
Velocidade média de escoamento no difusor
0.800
0.700
0.600
0.500
0.400
0.300
0.200
0.100
0.000
1
2

**Intrusão salina (durante a descarga)**

| Riser | qi | ui (jato) | Dp,i | Fr | Intrusão |
|---|---|---|---|---|---|
| | [l/s] | [m/s] | [m] | [-] | |
| 1 | 10.8 | 5.04 | 0.1 | 32.1 | Ok! |
| 2 | 10.9 | 5.06 | 0.1 | 32.3 | Ok! |

Não existem problemas de intrusão salina

**Eficiência Ambiental**

**Diluição / Dispersão / Die-off**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $D_i$ | 437.7175 | [-] | *Diluição inicial* |
| $D_h$ | 1.930322 | [-] | *Dispersão horizontal* |
| $D_b$ | 1.693921 | [-] | *Die-Off* |

| **Descarga** | | | | **Costa** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{totais}$ | 1.00E+07 | [un/100ml] | → | $C_{totais}$ | 6986.8777 | [un/100ml] |
| $C_{fecais}$ | 1.00E+06 | [un/100ml] | → | $C_{fecais}$ | 698.68777 | [un/100ml] |

**Dimensionamento Estrutural**

**Características da agitação marítima**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_R$ | 100 | [anos] | *Período de Retorno* |
| $H_{des}$ | 8.5 | [m] | *Altura de Onda de Projeto* |
| $T_{des}$ | 9 | [s] | *Período de Projeto* |
| $L_0$ | 126 | [m] | *Comprimento de Onda* |

| Zona de Rebentação | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Batimétrica | $(H/L_0)_{MÁX}$ | $H_{MÁXMiche}$ | 0.78*d | $H_{design}$ | Rebentação |
| [m] | [-] | [m] | [m] | [m] | |
| 1 | 0.0070 | 0.89 | 0.78 | 0.78 | Zona de Rebentação |
| 2 | 0.0140 | 1.78 | 1.56 | 1.56 | Zona de Rebentação |
| 3 | 0.0210 | 2.65 | 2.34 | 2.34 | Zona de Rebentação |
| 4 | 0.0278 | 3.52 | 3.12 | 3.12 | Zona de Rebentação |
| 5 | 0.0345 | 4.37 | 3.90 | 3.9 | Zona de Rebentação |
| 6 | 0.0411 | 5.19 | 4.68 | 4.68 | Zona de Rebentação |
| 7 | 0.0474 | 6.00 | 5.46 | 5.46 | Zona de Rebentação |
| 8 | 0.0536 | 6.77 | 6.24 | 6.24 | Zona de Rebentação |
| 9 | 0.0595 | 7.52 | 7.02 | 7.02 | Zona de Rebentação |
| 10 | 0.0652 | 8.24 | 7.80 | 7.8 | Zona de Rebentação |

Todo o emissário se localiza na Zona de Rebentação

## Comparação de Resultados

| Cenário | $\sum N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | |
|---|---|---|---|
| [-] | [-] | [$m^3$] | Descrição |
| 1 | 0 | 0 | *Todos os anéis diferentes* |
| 2 | 0 | 0 | *Todos os anéis iguais* |
| 3 | 0 | 0 | *Aneis iguais em intervalos de 100m* |
| 4 | 0 | 0 | *Apenas 2 tipos de anel* |

## Anéis de Afundamento - Zona de Rebetanção

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel | $V_{betão}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] | [$m^3$] |
| 0-1 | 0 | 0 | 16.4 | 105 | 0.04 | 0.67 |
| 1-2 | 0 | 0 | 16.4 | 105 | 0.04 | 0.67 |
| 2-3 | 0 | 0 | 12.7 | 105 | 0.04 | 0.52 |
| 3-4 | 0 | 0 | 12.7 | 105 | 0.04 | 0.52 |
| 4-5 | 0 | 0 | 5.1 | 105 | 0.04 | 0.21 |
| 5-6 | 0 | 0 | 5.1 | 105 | 0.04 | 0.21 |
| 6-7 | 0 | 0 | 5.1 | 105 | 0.04 | 0.21 |
| 7-8 | 0 | 0 | 5.1 | 105 | 0.04 | 0.21 |
| 8-9 | 0 | 0 | 5.1 | 105 | 0.04 | 0.21 |
| 9-10 | 0 | 0 | 5.1 | 105 | 0.04 | 0.21 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $\sum N_{anéis}$ | 88.9 | $V_{total\ betão}$ | 3.66 | [$m^3$] |

**Zona de Rebentação - Proteção de Enrocamento**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_{design}$ | 15 | [s] | *Período de Projeto* |
| S | 2 | [-] | *Nível de estragos admissível* |
| $\gamma_{material}$ | 29 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico dos Blocos* |
| $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $N_{PMAV}$ | 2.9 | [m] | *Nível de Água em Preia Mar* |
| tg $\theta$ | 0.5 | [-] | *Inclinação dos Taludes* |

Proteção de Enrocamento

| $Z_{fundo}$ | $N_{PMAV}$ | $Z_{coroamento}$ | $h_c$ | d | $H_{des}$ | $D_{n50}$ | $W_{van\ der\ Meer}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kN] | [kg] |
| 0 | 2.9 | 1.69 | 1.69 | 2.9 | 0.78 | 0.15 | 0.1 | 0.01 |
| -1 | 2.9 | 0.69 | 1.69 | 3.9 | 1.56 | 0.25 | 0.4 | 0.04 |
| -2 | 2.9 | -0.31 | 1.69 | 4.9 | 2.34 | 0.33 | 1.0 | 0.10 |
| -3 | 2.9 | -1.31 | 1.69 | 5.9 | 3.12 | 0.40 | 1.8 | 0.18 |
| -4 | 2.9 | -2.31 | 1.69 | 6.9 | 3.9 | 0.46 | 2.8 | 0.29 |
| -5 | 2.9 | -3.31 | 1.69 | 7.9 | 4.68 | 0.52 | 4.1 | 0.42 |
| -6 | 2.9 | -4.31 | 1.69 | 8.9 | 5.46 | 0.58 | 5.6 | 0.57 |
| -7 | 2.9 | -5.31 | 1.69 | 9.9 | 6.24 | 0.63 | 7.4 | 0.76 |
| -8 | 2.9 | -6.31 | 1.69 | 10.9 | 7.02 | 0.69 | 9.5 | 0.97 |
| -9 | 2.9 | -7.31 | 1.69 | 11.9 | 7.8 | 0.74 | 11.8 | 1.20 |
| -10 | 2.9 | -8.31 | 1.69 | 12.9 | 8.58 | 0.79 | 14.4 | 1.47 |

Escalonamento

Porto da Cruz - Proteção de Enrocamento

| $\Delta Z$ | $\Sigma L$ | Trecho | $h_c$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 81.8 | 1 | 0.84 | 0.24 | 0.04 | 4.0 |
| 1-2 | 163.7 | 1 | 0.84 | 0.24 | 0.04 | 4.0 |
| 2-3 | 227.1 | 2 | 0.97 | 0.37 | 0.15 | 14.9 |
| 3-4 | 290.6 | 2 | 0.97 | 0.37 | 0.15 | 14.9 |
| 4-5 | 316.3 | 3 | 1.33 | 0.73 | 1.16 | 115.6 |
| 5-6 | 341.9 | 3 | 1.33 | 0.73 | 1.16 | 115.6 |
| 6-7 | 367.6 | 3 | 1.33 | 0.73 | 1.16 | 115.6 |
| 7-8 | 393.3 | 3 | 1.33 | 0.73 | 1.16 | 115.6 |
| 8-9 | 419.0 | 3 | 1.33 | 0.73 | 1.16 | 115.6 |
| 9-10 | 444.7 | 3 | 1.33 | 0.73 | 1.16 | 115.6 |

| Varíaveis | | |
|---|---|---|
| $T_R$ | [anos] | *Tempo de retorno* |
| $H_{máx}$ | [m] | *Altura máxima de onda* |
| T | [s] | *Período de Onda* |
| L | [m] | *Comprimento de Onda* |
| $(H/L)_{máx}$ | [-] | *Declividade máxima de Miche* |
| $H_{design}$ | [m] | *Altura de Onda de Dimensionamento* |
| $C_D$ | [-] | *Coeficiente de Resistência* |
| $C_M$ | [-] | *Coeficiente de Inércia* |
| $C_L$ | [-] | *Coeficiente de Sustentação* |
| $\gamma_{mar}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $\gamma_{betão}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico do Betão* |
| $\gamma_{PEAD}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da conduta de PEAD* |
| $W_{u.c.}$ | [kg/m] | *Massa Unitária da conduta de PEAD* |
| e | [m] | *Espaçamento entre Anéis* |
| Ø' | [°] | *Ângulo de Atrito da Interface Anel de Betão - Fundo Marítimo* |
| F.S. | [-] | *Fator de Segurança* |
| $F_H$ | [N/m] | *Força Horizontal unitária* |
| $F_V$ | [N/m] | *Força Vertical Unitária* |
| $N_{anéis}$ | [-] | *Número de Anéis de Betão* |
| $W_{anel}$ | [kg] | *Massa de um Anel de Betão* |
| $Z_{fundo}$ | [m] | *Cota do Fundo* |
| $N_{PMAV}$ | [m] | *Nível de água em Preia-Mar* |
| $Z_{coroamento}$ | [m] | *Cota do Coroamento* |
| $h_c$ | [m] | *Altura da Proteção de Enrocamento* |
| d | [m] | *Profundidade* |
| $W_{núcleo}$ | [kg] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Núcleo* |
| $W_{M.R.}$ | [t] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Manto Resistente* |
| $D_{n50}$ | [m] | *Dimensão Média dos Blocos* |

| | |
|---|---|
| ***Projeto:*** | **Emissário Submarino de Porto da Cruz - Solução B** |
| ***Instituição:*** | **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto** |
| ***Data:*** | **Maio/2014** |

U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Características do projeto**

**Caudal de Projeto** 0.0217 [$m^3/s$]

**Dados Geométricos**

**Emissário**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| *Material* | Polietileno de alta densidade | | | |
| *Diâmetro* | 200 | [mm] | | |
| *Troço Marítimo* | 471.07 | [m] | *Troço Terrestre* | 122.08 [m] |

**Difusor**

| | | |
|---|---|---|
| *Profundidade Máxima* | 12.5 | [m] |
| *Comprimento* | 5 | [m] |
| *Número de risers* | 2 | [m] |

**Dimensionamento Hidráulico**

**Emissário**

| | | | | Perdas de carga | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{exu}$ | $Q_{desc}$ | $U_{desc}$ | $L_{exu}$ | $\Delta H_{cont}$ | $\Delta H_{cc}$ | $\Delta H_{total\ exu}$ |
| [mm] | [L/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 200 | 22 | 0.691 | 593.15 | 3.72 | 0.01 | 3.73 |

**Cota Piezométrica - ETAR**

| | | |
|---|---|---|
| Cota piezométrica mínima na ETAR | 4.8 | [m] ao ZH! |
| *(se não for possível garantir a cota mencionada o sistema não pode funcionar graviticamente)* | | |

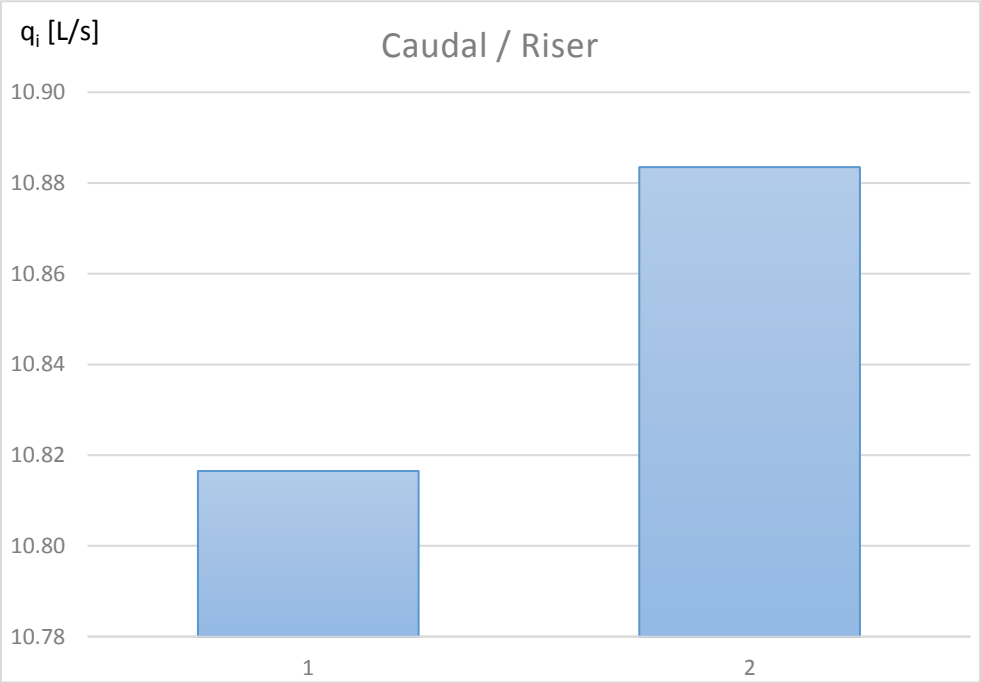
| | |
|---|---|
| $D_{exu}$ | *Diâmetro do exutor;* |
| $Q_{desc}$ | *Caudal descarregado;* |
| $U_{desc}$ | *Velocidade média de escoamento;* |
| $\Delta H_{cont}$ | *Perda de carga contínua;* |
| $\Delta H_{CC}$ | *Perda de carga localizada à saida da câmara de carga* |
| $\Delta H_{total\ exu}$ | *Perda de carga global no exutor* |

Autor: Francisco dos Santos Carneiro Chaves
Orientador: Professor Doutor Francisco de Almeida Taveira Pinto

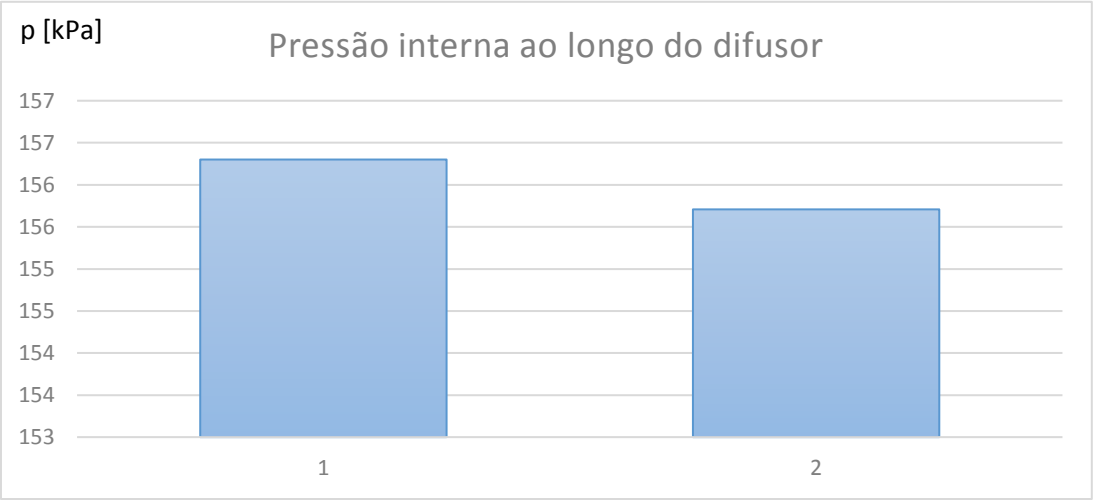
**Comportamento Hidráulico**

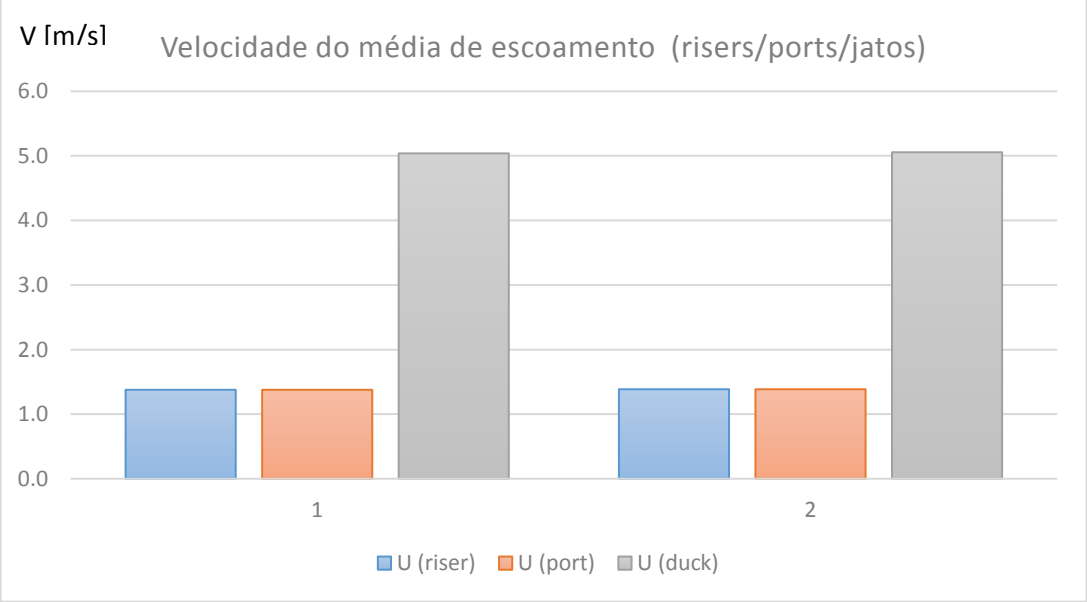
**Difusor**

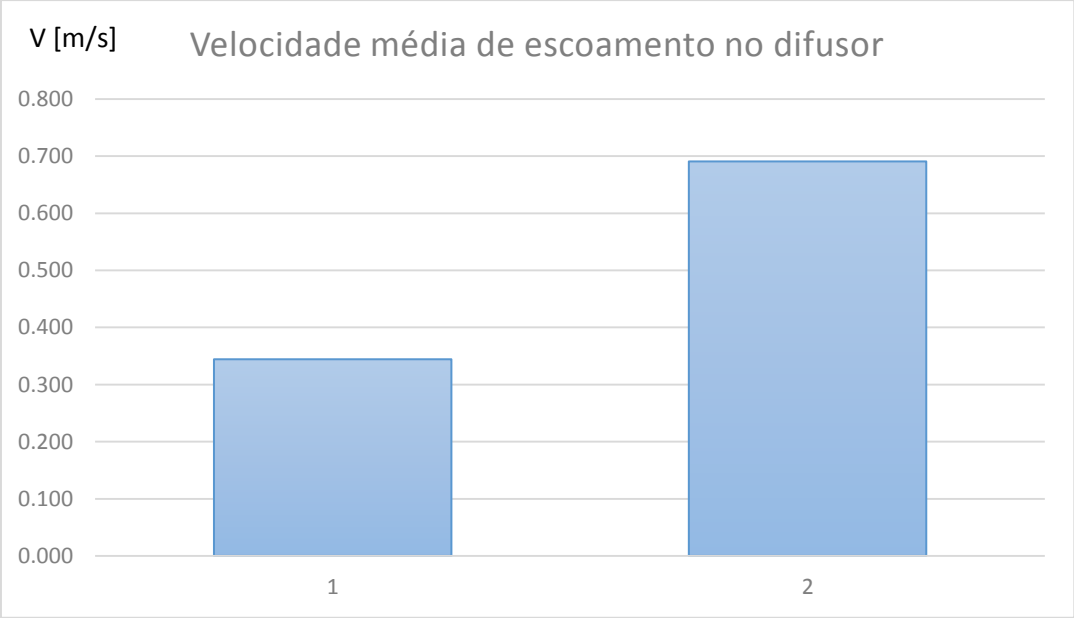
| Riser | q | P | $P/\gamma_{MAR}$ | $U_{dif}$ | $U_{riser}$ | $U_{port}$ | $U_{duck}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [L/s] | [kPa] | [m] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m/s] |
| 1 | 10.82 | 156.30 | 15.57 | 0.344 | 1.377 | 1.377 | 5.039 |
| 2 | 10.88 | 155.71 | 15.52 | 0.691 | 1.386 | 1.386 | 5.056 |
| $\sum$ | 21.70 | | | | | | |




| | |
|---|---|
| q | *Caudal descarregado em cada riser* |
| P | *Pressão relativa (eixo do difusor)* |
| $U_{dif}$ | *Velocidade média de escoamento - Difusor* |
| $U_{riser}$ | *Velocidade média de escoamento - Riser* |
| $U_{port}$ | *Velocidade média de escoamento - Porta* |
| $U_{duck}$ | *Velocidade média de escoamento - Válvula "Duckill"* |


p [kPa]
Pressão interna ao longo do difusor
157
157
156
156
155
155
154
154
153
1
2


V [m/s]
Velocidade do média de escoamento (risers/ports/jatos)
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
1
2
U (riser)
U (port)
U (duck)


V [m/s]
Velocidade média de escoamento no difusor
0.800
0.700
0.600
0.500
0.400
0.300
0.200
0.100
0.000
1
2

**Intrusão salina (durante a descarga)**

| Riser | qi | ui (jato) | Dp,i | Fr | Intrusão |
|---|---|---|---|---|---|
| | [l/s] | [m/s] | [m] | [-] | |
| 1 | 10.8 | 5.04 | 0.1 | 32.1 | Ok! |
| 2 | 10.9 | 5.06 | 0.1 | 32.3 | Ok! |

Não existem problemas de intrusão salina

**Condições de Balneabilidade**

**Diluição / Dispersão / Die-off**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $D_i$ | 550.3458 | [-] | *Diluição inicial* |
| $D_h$ | 2.264264 | [-] | *Dispersão horizontal* |
| $D_b$ | 2.147626 | [-] | *Die-Off* |

| **Descarga** | | | | **Costa** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{totais}$ | 1.00E+07 | [un/dia] | → | $C_{totais}$ | 3736.6173 | [un/dia] |
| $C_{fecais}$ | 1.00E+06 | [un/dia] | → | $C_{fecais}$ | 373.66173 | [un/dia] |

**Dimensionamento Estrutural**

**Características da agitação marítima**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_R$ | 100 | [anos] | *Período de Retorno* |
| $H_{des}$ | 8.5 | [m] | *Altura de Onda de Projeto* |
| $T_{des}$ | 9 | [s] | *Período de Projeto* |
| $L_0$ | 126 | [m] | *Comprimento de Onda* |

| Zona de Rebentação | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Batimétrica | $(H/L_0)_{MÁX}$ | $H_{MÁXMiche}$ | 0.78*d | $H_{design}$ | Rebentação |
| [m] | [-] | [m] | [m] | [m] | |
| 1 | 0.0070 | 0.89 | 0.78 | 0.78 | Zona de Rebentação |
| 2 | 0.0140 | 1.78 | 1.56 | 1.56 | Zona de Rebentação |
| 3 | 0.0210 | 2.65 | 2.34 | 2.34 | Zona de Rebentação |
| 4 | 0.0278 | 3.52 | 3.12 | 3.12 | Zona de Rebentação |
| 5 | 0.0345 | 4.37 | 3.90 | 3.9 | Zona de Rebentação |
| 6 | 0.0411 | 5.19 | 4.68 | 4.68 | Zona de Rebentação |
| 7 | 0.0474 | 6.00 | 5.46 | 5.46 | Zona de Rebentação |
| 8 | 0.0536 | 6.77 | 6.24 | 6.24 | Zona de Rebentação |
| 9 | 0.0595 | 7.52 | 7.02 | 7.02 | Zona de Rebentação |
| 10 | 0.0652 | 8.24 | 7.80 | 7.8 | Zona de Rebentação |
| 11 | 0.0706 | 8.93 | 8.58 | 8.5 | Ok |
| 12 | 0.0758 | 9.58 | 9.36 | 8.5 | Ok |
| 13 | 0.0807 | 10.20 | 10.14 | 8.5 | Ok |

| Dimensionamento de anéis de betão | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CD | 2 | | $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | | e | 5 | [m] |
| CM | 2 | | $\gamma_{betão}$ | 25 | [kN/m$^3$] | | Ø' | 30 | [$^o$] |
| CL | 1 | | $\gamma_{PEAD}$ | 8.829 | [kN/m$^3$] | | F.S. | 1.5 | [-] |
| | | | $W_{u.c.}$ | 0.056996 | [kg/m] | | kN/m | | |

**Cenário 1 - Solução optimizada, Todos os anéis diferentes**

| $\triangle$Z | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [m$^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 667 | 71 | 15 | 1630 | 0.64 |
| 11-12 | 660 | 70 | 15 | 1614 | 0.63 |
| 12-13 | 653 | 69 | 13 | 1596 | 0.63 |

**Cenário 2 - Todos os anéis iguais**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 667 | 71 | 15 | 1630 | 0.64 |
| 11-12 | 660 | 70 | 15 | 1630 | 0.64 |
| 12-13 | 653 | 69 | 13 | 1630 | 0.64 |

**Cenário 3 - Blocos diferentes em intervalos de 100m**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 667 | 71 | 15 | 1630 | 0.64 |
| 11-12 | 660 | 70 | 15 | 1630 | 0.64 |
| 12-13 | 653 | 69 | 13 | 1596 | 0.63 |

**Cenário 4 - Apenas 2 tipos de anéis**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 667 | 71 | 15 | 1630 | 0.64 |
| 11-12 | 660 | 70 | 15 | 1630 | 0.64 |
| 12-13 | 653 | 69 | 13 | 1630 | 0.64 |

## Comparação de Resultados

| Cenário | $\sum N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | |
|---|---|---|---|
| [-] | [-] | [$m^3$] | Descrição |
| 1 | 43.04536 | 27 | *Todos os anéis diferentes* |
| 2 | 43.04536 | 28 | *Todos os anéis iguais* |
| 3 | 43.04536 | 27 | *Aneis iguais em intervalos de 100m* |
| 4 | 43.04536 | 28 | *Apenas 2 tipos de anel* |

## Anéis de Afundamento - Zona de Rebetanção

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel | $V_{betão}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] | [$m^3$] |
| 0-1 | 0 | 0 | 16.4 | 105 | 0.04 | 0.67 |
| 1-2 | 0 | 0 | 16.4 | 105 | 0.04 | 0.67 |
| 2-3 | 0 | 0 | 12.7 | 105 | 0.04 | 0.52 |
| 3-4 | 0 | 0 | 12.7 | 105 | 0.04 | 0.52 |
| 4-5 | 0 | 0 | 5.1 | 105 | 0.04 | 0.21 |
| 5-6 | 0 | 0 | 5.1 | 105 | 0.04 | 0.21 |
| 6-7 | 0 | 0 | 5.1 | 105 | 0.04 | 0.21 |
| 7-8 | 0 | 0 | 5.1 | 105 | 0.04 | 0.21 |
| 8-9 | 0 | 0 | 5.1 | 105 | 0.04 | 0.21 |
| 9-10 | 0 | 0 | 5.1 | 105 | 0.04 | 0.21 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\sum N_{anéis}$ | 88.9 | | $V_{total\ betão}$ | 3.66 | [$m^3$] |

**Zona de Rebentação - Proteção de Enrocamento**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_{design}$ | 15 | [s] | *Período de Projeto* |
| S | 2 | [-] | *Nível de estragos admissível* |
| $\gamma_{material}$ | 29 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico dos Blocos* |
| $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $N_{PMAV}$ | 2.9 | [m] | *Nível de Água em Preia Mar* |
| tg $\theta$ | 0.5 | [-] | *Inclinação dos Taludes* |

Proteção de Enrocamento

| $Z_{fundo}$ | $N_{PMAV}$ | $Z_{coroamento}$ | $h_c$ | d | $H_{des}$ | $D_{n50}$ | $W_{van\ der\ Meer}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kN] | [kg] |
| 0 | 2.9 | 1.69 | 1.69 | 2.9 | 0.78 | 0.15 | 0.1 | 0.01 |
| -1 | 2.9 | 0.69 | 1.69 | 3.9 | 1.56 | 0.25 | 0.4 | 0.04 |
| -2 | 2.9 | -0.31 | 1.69 | 4.9 | 2.34 | 0.33 | 1.0 | 0.10 |
| -3 | 2.9 | -1.31 | 1.69 | 5.9 | 3.12 | 0.40 | 1.8 | 0.18 |
| -4 | 2.9 | -2.31 | 1.69 | 6.9 | 3.9 | 0.46 | 2.8 | 0.29 |
| -5 | 2.9 | -3.31 | 1.69 | 7.9 | 4.68 | 0.52 | 4.1 | 0.42 |
| -6 | 2.9 | -4.31 | 1.69 | 8.9 | 5.46 | 0.58 | 5.6 | 0.57 |
| -7 | 2.9 | -5.31 | 1.69 | 9.9 | 6.24 | 0.63 | 7.4 | 0.76 |
| -8 | 2.9 | -6.31 | 1.69 | 10.9 | 7.02 | 0.69 | 9.5 | 0.97 |
| -9 | 2.9 | -7.31 | 1.69 | 11.9 | 7.8 | 0.74 | 11.8 | 1.20 |
| -10 | 2.9 | -8.31 | 1.69 | 12.9 | 8.58 | 0.79 | 14.4 | 1.47 |

Escalonamento

Porto da Cruz - Proteção de Enrocamento

| $\Delta Z$ | $\Sigma L$ | Trecho | $h_c$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 81.8 | 1 | 0.84 | 0.24 | 0.04 | 4.0 |
| 1-2 | 163.7 | 1 | 0.84 | 0.24 | 0.04 | 4.0 |
| 2-3 | 227.1 | 2 | 0.97 | 0.37 | 0.15 | 14.9 |
| 3-4 | 290.6 | 2 | 0.97 | 0.37 | 0.15 | 14.9 |
| 4-5 | 316.3 | 3 | 1.33 | 0.73 | 1.16 | 115.6 |
| 5-6 | 341.9 | 3 | 1.33 | 0.73 | 1.16 | 115.6 |
| 6-7 | 367.6 | 3 | 1.33 | 0.73 | 1.16 | 115.6 |
| 7-8 | 393.3 | 3 | 1.33 | 0.73 | 1.16 | 115.6 |
| 8-9 | 419.0 | 3 | 1.33 | 0.73 | 1.16 | 115.6 |
| 9-10 | 444.7 | 3 | 1.33 | 0.73 | 1.16 | 115.6 |

| Varíaveis | | |
|---|---|---|
| $T_R$ | [anos] | *Tempo de retorno* |
| $H_{máx}$ | [m] | *Altura máxima de onda* |
| T | [s] | *Período de Onda* |
| L | [m] | *Comprimento de Onda* |
| $(H/L)_{máx}$ | [-] | *Declividade máxima de Miche* |
| $H_{design}$ | [m] | *Altura de Onda de Dimensionamento* |
| $C_D$ | [-] | *Coeficiente de Resistência* |
| $C_M$ | [-] | *Coeficiente de Inércia* |
| $C_L$ | [-] | *Coeficiente de Sustentação* |
| $\gamma_{mar}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $\gamma_{betão}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico do Betão* |
| $\gamma_{PEAD}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da conduta de PEAD* |
| $W_{u.c.}$ | [kg/m] | *Massa Unitária da conduta de PEAD* |
| e | [m] | *Espaçamento entre Anéis* |
| Ø' | [°] | *Ângulo de Atrito da Interface Anel de Betão - Fundo Marítimo* |
| F.S. | [-] | *Fator de Segurança* |
| $F_H$ | [N/m] | *Força Horizontal unitária* |
| $F_V$ | [N/m] | *Força Vertical Unitária* |
| $N_{anéis}$ | [-] | *Número de Anéis de Betão* |
| $W_{anel}$ | [kg] | *Massa de um Anel de Betão* |
| $Z_{fundo}$ | [m] | *Cota do Fundo* |
| $N_{PMAV}$ | [m] | *Nível de água em Preia-Mar* |
| $Z_{coroamento}$ | [m] | *Cota do Coroamento* |
| $h_c$ | [m] | *Altura da Proteção de Enrocamento* |
| d | [m] | *Profundidade* |
| $W_{núcleo}$ | [kg] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Núcleo* |
| $W_{M.R.}$ | [t] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Manto Resistente* |
| $D_{n50}$ | [m] | *Dimensão Média dos Blocos* |

| | |
|---|---|
| ***Projeto:*** | **Emissário submarino de Porto da Cruz - Solução C** |
| ***Instituição:*** | **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto** |
| ***Data:*** | **Maio/2014** |

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Características do projeto**

**Caudal de Projeto** 0.0217 [$m^3/s$]

**Dados Geométricos**

**Emissário**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| *Material* | Polietileno de alta densidade | | | | |
| *Diâmetro* | 200 | [mm] | | | |
| *Troço Marítimo* | 606.47 | [m] | *Troço Terrestre* | 122.08 | [m] |

**Difusor**

| | | |
|---|---|---|
| *Profundidade Máxima* | 15 | [m] |
| *Comprimento* | 5 | [m] |
| *Número de risers* | 2 | [m] |

**Dimensionamento Hidráulico**

**Emissário**

| | | | | Perdas de carga | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{exu}$ | $Q_{desc}$ | $U_{desc}$ | $L_{exu}$ | $\Delta H_{cont}$ | $\Delta H_{cc}$ | $\Delta H_{total\ exu}$ |
| [mm] | [L/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 200 | 22 | 0.691 | 728.55 | 4.57 | 0.01 | 4.58 |

**Cota piezométrica - ETAR**

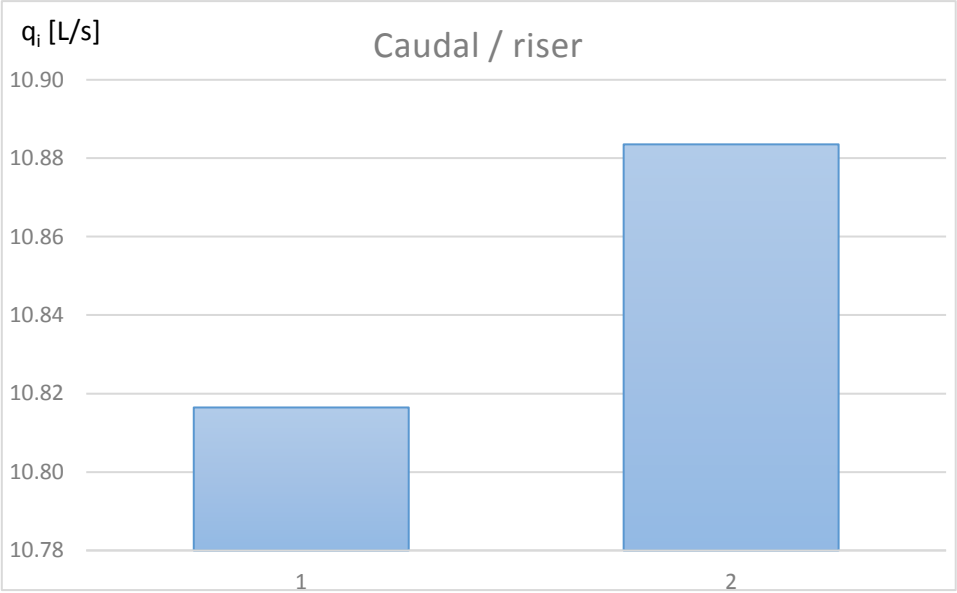
| | | |
|---|---|---|
| Cota piezométrica mínima na ETAR | 5.6 | [m] ao ZH! |
| *(se não for possível garantir a cota mencionada o sistema não pode funcionar graviticamente)* | | |

| | |
|---|---|
| $D_{exu}$ | *Diâmetro do exutor;* |
| $Q_{desc}$ | *Caudal descarregado;* |
| $U_{desc}$ | *Velocidade média de escoamento;* |
| $\Delta H_{cont}$ | *Perda de carga contínua;* |
| $\Delta H_{CC}$ | *Perda de carga localizada à saida da câmara de carga* |
| $\Delta H_{total\ exu}$ | *Perda de carga global no exutor* |

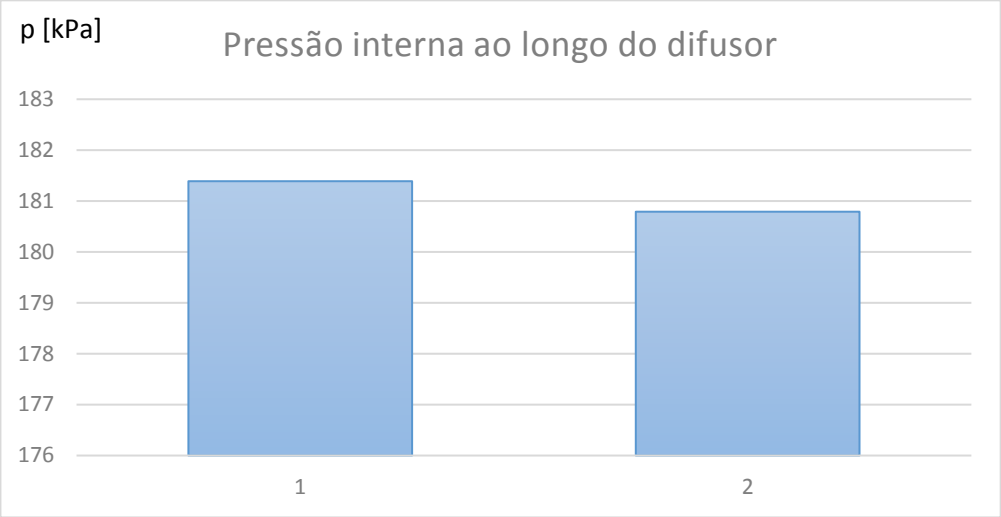
**Comportamento Hidráulico**

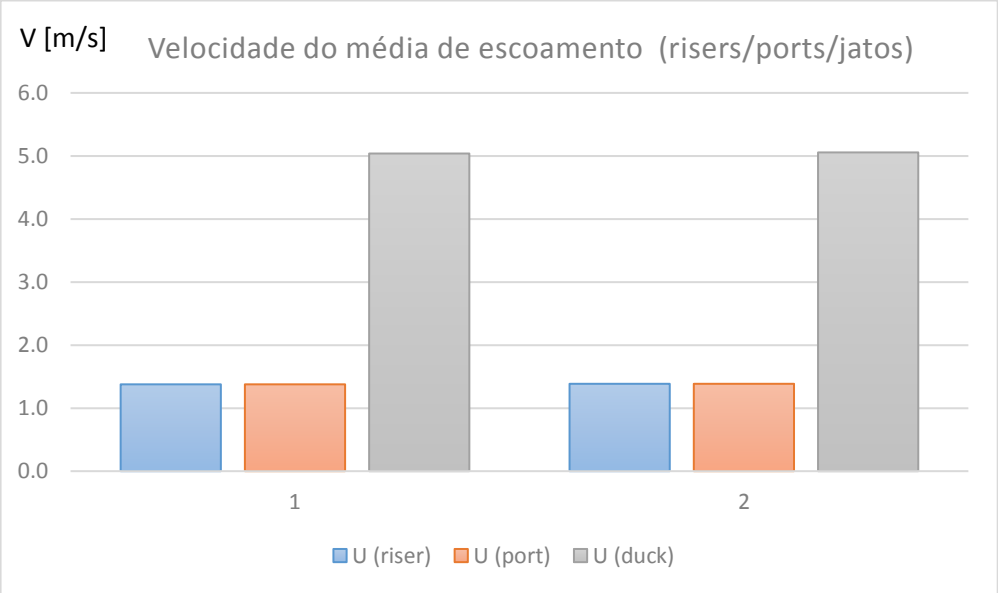
**Difusor**

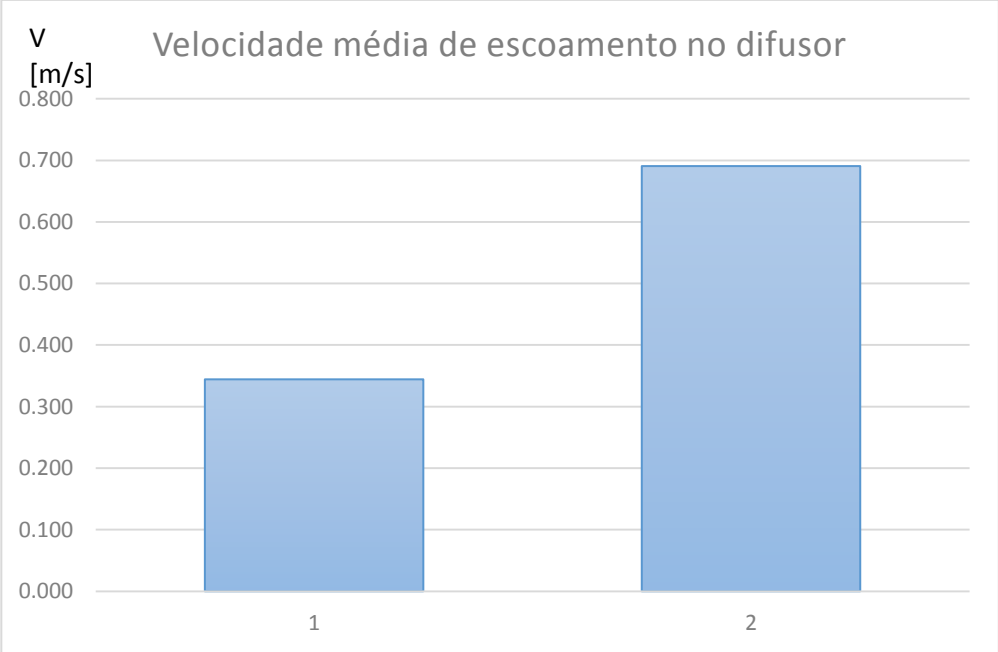
| Riser | q | P | $P/\gamma_{MAR}$ | $U_{dif}$ | $U_{riser}$ | $U_{port}$ | $U_{duck}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [L/s] | [kPa] | [m] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m/s] |
| 1 | 10.82 | 181.39 | 18.07 | 0.344 | 1.377 | 1.377 | 5.039 |
| 2 | 10.88 | 180.79 | 18.01 | 0.691 | 1.386 | 1.386 | 5.056 |
| $\sum$ | 21.70 | | | | | | |




| | |
|---|---|
| q | *Caudal descarregado em cada riser* |
| P | *Pressão relativa (eixo do difusor)* |
| $U_{dif}$ | *Velocidade média de escoamento - Difusor* |
| $U_{riser}$ | *Velocidade média de escoamento - Riser* |
| $U_{port}$ | *Velocidade média de escoamento - Porta* |
| $U_{duck}$ | *Velocidade média de escoamento - Válvula "Duckill"* |


p [kPa]
Pressão interna ao longo do difusor
183
182
181
180
179
178
177
176
1
2


V [m/s]
Velocidade do média de escoamento (risers/ports/jatos)
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
1
2
U (riser)
U (port)
U (duck)


V [m/s]
Velocidade média de escoamento no difusor
0.800
0.700
0.600
0.500
0.400
0.300
0.200
0.100
0.000
1
2

**Intrusão salina (durante a descarga)**

| Riser | qi | ui (jato) | Dp,i | Fr | Intrusão |
|---|---|---|---|---|---|
| | [l/s] | [m/s] | [m] | [-] | |
| 1 | 10.8 | 5.04 | 0.1 | 32.1 | Ok! |
| 2 | 10.9 | 5.06 | 0.1 | 32.3 | Ok! |

Não existem problemas de intrusão salina

**Eficiência Ambiental**

**Diluição / Dispersão / Die-off**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $D_i$ | 660.8225 | [-] | *Diluição inicial* |
| $D_h$ | 2.5379 | [-] | *Dispersão horizontal* |
| $D_b$ | 2.681621 | [-] | *Die-Off* |

| **Descarga** | | | | **Costa** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{totais}$ | 1.00E+07 | [un/100ml] | → | $C_{totais}$ | 2.22E+03 | [un/100ml] |
| $C_{fecais}$ | 1.00E+06 | [un/100ml] | → | $C_{fecais}$ | 222.35314 | [un/100ml] |

**Dimensionamento Estrutural**

**Características da agitação marítima**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_R$ | 100 | [anos] | *Período de Retorno* |
| $H_{des}$ | 8.5 | [m] | *Altura de Onda de Projeto* |
| $T_{des}$ | 9 | [s] | *Período de Projeto* |
| $L_0$ | 126 | [m] | *Comprimento de Onda* |

| Zona de Rebentação | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Batimétrica | $(H/L_0)_{MÁX}$ | $H_{MÁXMiche}$ | 0.78*d | $H_{design}$ | Rebentação |
| [m] | [-] | [m] | [m] | [m] | |
| 1 | 0.0070 | 0.89 | 0.78 | 0.78 | Zona de Rebentação |
| 2 | 0.0140 | 1.78 | 1.56 | 1.56 | Zona de Rebentação |
| 3 | 0.0210 | 2.65 | 2.34 | 2.34 | Zona de Rebentação |
| 4 | 0.0278 | 3.52 | 3.12 | 3.12 | Zona de Rebentação |
| 5 | 0.0345 | 4.37 | 3.90 | 3.9 | Zona de Rebentação |
| 6 | 0.0411 | 5.19 | 4.68 | 4.68 | Zona de Rebentação |
| 7 | 0.0474 | 6.00 | 5.46 | 5.46 | Zona de Rebentação |
| 8 | 0.0536 | 6.77 | 6.24 | 6.24 | Zona de Rebentação |
| 9 | 0.0595 | 7.52 | 7.02 | 7.02 | Zona de Rebentação |
| 10 | 0.0652 | 8.24 | 7.80 | 7.8 | Zona de Rebentação |
| 11 | 0.0706 | 8.93 | 8.58 | 8.5 | Ok |
| 12 | 0.0758 | 9.58 | 9.36 | 8.5 | Ok |
| 13 | 0.0807 | 10.20 | 10.14 | 8.5 | Ok |
| 14 | 0.0853 | 10.79 | 10.92 | 8.5 | Ok |
| 15 | 0.0897 | 11.34 | 11.70 | 8.5 | Ok |

**Dimensionamento de anéis de betão**

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CD | 2 | | $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | | e | 5 | [m] |
| CM | 2 | | $\gamma_{betão}$ | 25 | [kN/m$^3$] | | Ø' | 30 | [$^o$] |
| CL | 1 | | $\gamma_{PEAD}$ | 8.829 | [kN/m$^3$] | | F.S. | 1.5 | [-] |
| | | | $W_{u.c.}$ | 0.056996 | [kg/m] | | kN/m | | |

**Cenário 1 - Solução optimizada, Todos os anéis diferentes**

| $\triangle$Z | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [m$^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 15 | 5402 | 2.12 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 15 | 5402 | 2.12 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 13 | 5150 | 2.02 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 11 | 4895 | 1.92 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 11 | 4639 | 1.82 |

**Cenário 2 - Todos os anéis iguais**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 15 | 5402 | 2.12 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 15 | 5402 | 2.12 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 13 | 5402 | 2.12 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 11 | 5402 | 2.12 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 11 | 5402 | 2.12 |

**Cenário 3 - Blocos diferentes em intervalos de 100m**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 15 | 5402 | 2.12 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 15 | 5402 | 2.12 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 13 | 5150 | 2.02 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 11 | 4895 | 1.92 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 11 | 4895 | 1.92 |

**Cenário 4 - Apenas 2 tipos de anéis**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 15 | 5402 | 2.12 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 15 | 5402 | 2.12 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 13 | 5402 | 2.12 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 11 | 5402 | 2.12 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 11 | 5402 | 2.12 |

## Comparação de Resultados

| Cenário | $\sum N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | |
|---|---|---|---|
| [-] | [-] | [$m^3$] | Descrição |
| 1 | 80.12215 | 156 | *Todos os anéis diferentes* |
| 2 | 80.12215 | 170 | *Todos os anéis iguais* |
| 3 | 80.12215 | 158 | *Aneis iguais em intervalos de 100m* |
| 4 | 80.12215 | 170 | *Apenas 2 tipos de anel* |

## Anéis de Afundamento - Zona de Rebetanção

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel | $V_{betão}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] | [$m^3$] |
| 0-1 | 0 | 0 | 16.4 | 105 | 0.04 | 0.67 |
| 1-2 | 0 | 0 | 16.4 | 105 | 0.04 | 0.67 |
| 2-3 | 0 | 0 | 12.7 | 105 | 0.04 | 0.52 |
| 3-4 | 0 | 0 | 12.7 | 105 | 0.04 | 0.52 |
| 4-5 | 0 | 0 | 5.1 | 105 | 0.04 | 0.21 |
| 5-6 | 0 | 0 | 5.1 | 105 | 0.04 | 0.21 |
| 6-7 | 0 | 0 | 5.1 | 105 | 0.04 | 0.21 |
| 7-8 | 0 | 0 | 5.1 | 105 | 0.04 | 0.21 |
| 8-9 | 0 | 0 | 5.1 | 105 | 0.04 | 0.21 |
| 9-10 | 0 | 0 | 5.1 | 105 | 0.04 | 0.21 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\sum N_{anéis}$ | 88.9 | | $V_{total\ betão}$ | 3.66 | [$m^3$] |

**Zona de Rebentação - Proteção de Enrocamento**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_{design}$ | 15 | [s] | *Período de Projeto* |
| S | 2 | [-] | *Nível de estragos admissível* |
| $\gamma_{material}$ | 29 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico dos Blocos* |
| $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $N_{PMAV}$ | 2.9 | [m] | *Nível de Água em Preia Mar* |
| tg $\theta$ | 0.5 | [-] | *Inclinação dos Taludes* |

Proteção de Enrocamento

| $Z_{fundo}$ | $N_{PMAV}$ | $Z_{coroamento}$ | $h_c$ | d | $H_{des}$ | $D_{n50}$ | $W_{van\ der\ Meer}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kN] | [kg] |
| 0 | 2.9 | 1.69 | 1.69 | 2.9 | 0.78 | 0.15 | 0.1 | 0.01 |
| -1 | 2.9 | 0.69 | 1.69 | 3.9 | 1.56 | 0.25 | 0.4 | 0.04 |
| -2 | 2.9 | -0.31 | 1.69 | 4.9 | 2.34 | 0.33 | 1.0 | 0.10 |
| -3 | 2.9 | -1.31 | 1.69 | 5.9 | 3.12 | 0.40 | 1.8 | 0.18 |
| -4 | 2.9 | -2.31 | 1.69 | 6.9 | 3.9 | 0.46 | 2.8 | 0.29 |
| -5 | 2.9 | -3.31 | 1.69 | 7.9 | 4.68 | 0.52 | 4.1 | 0.42 |
| -6 | 2.9 | -4.31 | 1.69 | 8.9 | 5.46 | 0.58 | 5.6 | 0.57 |
| -7 | 2.9 | -5.31 | 1.69 | 9.9 | 6.24 | 0.63 | 7.4 | 0.76 |
| -8 | 2.9 | -6.31 | 1.69 | 10.9 | 7.02 | 0.69 | 9.5 | 0.97 |
| -9 | 2.9 | -7.31 | 1.69 | 11.9 | 7.8 | 0.74 | 11.8 | 1.20 |
| -10 | 2.9 | -8.31 | 1.69 | 12.9 | 8.58 | 0.79 | 14.4 | 1.47 |

Escalonamento

Porto da Cruz - Proteção de Enrocamento

| $\Delta Z$ | $\Sigma L$ | Trecho | $h_c$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 81.8 | 1 | 0.84 | 0.24 | 0.04 | 4.0 |
| 1-2 | 163.7 | 1 | 0.84 | 0.24 | 0.04 | 4.0 |
| 2-3 | 227.1 | 2 | 0.97 | 0.37 | 0.15 | 14.9 |
| 3-4 | 290.6 | 2 | 0.97 | 0.37 | 0.15 | 14.9 |
| 4-5 | 316.3 | 3 | 1.33 | 0.73 | 1.16 | 115.6 |
| 5-6 | 341.9 | 3 | 1.33 | 0.73 | 1.16 | 115.6 |
| 6-7 | 367.6 | 3 | 1.33 | 0.73 | 1.16 | 115.6 |
| 7-8 | 393.3 | 3 | 1.33 | 0.73 | 1.16 | 115.6 |
| 8-9 | 419.0 | 3 | 1.33 | 0.73 | 1.16 | 115.6 |
| 9-10 | 444.7 | 3 | 1.33 | 0.73 | 1.16 | 115.6 |

| Varíaveis | | |
|---|---|---|
| $T_R$ | [anos] | *Tempo de retorno* |
| $H_{máx}$ | [m] | *Altura máxima de onda* |
| T | [s] | *Período de Onda* |
| L | [m] | *Comprimento de Onda* |
| $(H/L)_{máx}$ | [-] | *Declividade máxima de Miche* |
| $H_{design}$ | [m] | *Altura de Onda de Dimensionamento* |
| $C_D$ | [-] | *Coeficiente de Resistência* |
| $C_M$ | [-] | *Coeficiente de Inércia* |
| $C_L$ | [-] | *Coeficiente de Sustentação* |
| $\gamma_{mar}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $\gamma_{betão}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico do Betão* |
| $\gamma_{PEAD}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da conduta de PEAD* |
| $W_{u.c.}$ | [kg/m] | *Massa Unitária da conduta de PEAD* |
| e | [m] | *Espaçamento entre Anéis* |
| Ø' | [°] | *Ângulo de Atrito da Interface Anel de Betão - Fundo Marítimo* |
| F.S. | [-] | *Fator de Segurança* |
| $F_H$ | [N/m] | *Força Horizontal unitária* |
| $F_V$ | [N/m] | *Força Vertical Unitária* |
| $N_{anéis}$ | [-] | *Número de Anéis de Betão* |
| $W_{anel}$ | [kg] | *Massa de um Anel de Betão* |
| $Z_{fundo}$ | [m] | *Cota do Fundo* |
| $N_{PMAV}$ | [m] | *Nível de água em Preia-Mar* |
| $Z_{coroamento}$ | [m] | *Cota do Coroamento* |
| $h_c$ | [m] | *Altura da Proteção de Enrocamento* |
| d | [m] | *Profundidade* |
| $W_{núcleo}$ | [kg] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Núcleo* |
| $W_{M.R.}$ | [t] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Manto Resistente* |
| $D_{n50}$ | [m] | *Dimensão Média dos Blocos* |

| | |
|---|---|
| ***Projeto:*** | **Emissário Submarino de Ribeira Brava - Solução A** |
| ***Instituição:*** | **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto** |
| ***Data:*** | **Maio/2014** |

U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Características do projeto**

**Caudal de Projeto** 0.0876 [$m^3/s$]

**Dados Geométricos**

**Emissário**

*Material* Polietileno de alta densidade

*Diâmetro* 300 [mm]

*Troço Marítimo* 167.8 [m] *Troço Terrestre* 367.7 [m]

**Difusor**

*Profundidade Máxima* 10 [m]

*Comprimento* 40 [m]

*Número de risers* 4 [m]

**Dimensionamento Hidráulico**

**Emissário**

| | | | | Perdas de carga | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{exu}$ | $Q_{desc}$ | $U_{desc}$ | $L_{exu}$ | $\Delta H_{cont}$ | $\Delta H_{cc}$ | $\Delta H_{total\ exu}$ |
| [mm] | [L/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 300 | 88 | 1.239 | 535.5 | 5.14 | 0.04 | 5.18 |

**Cota piezométrica - ETAR**

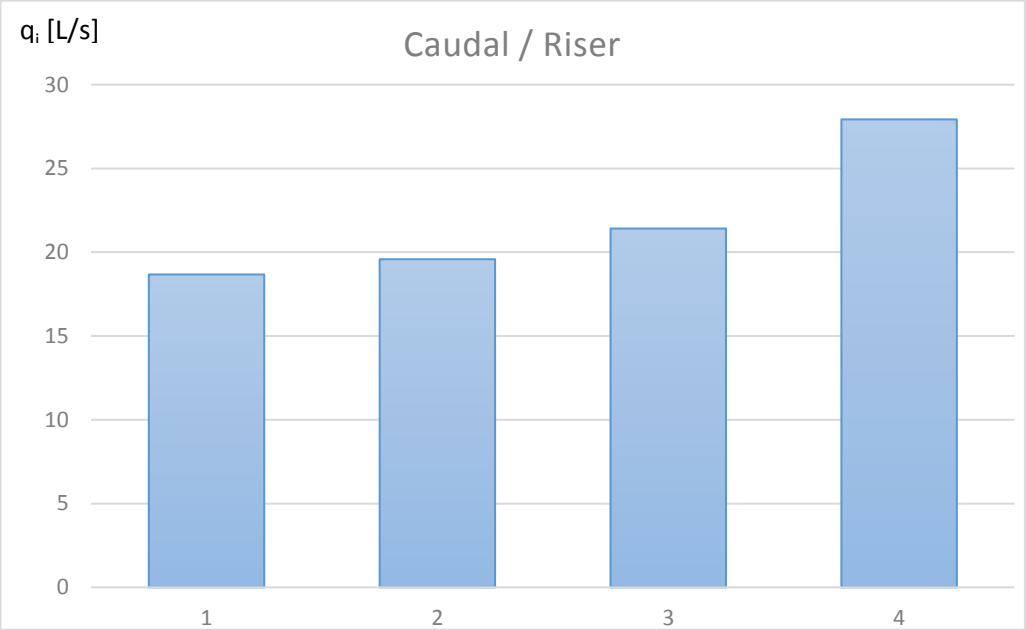
| | | |
|---|---|---|
| Cota mínima de funcionamento da câmara de carga: | 8.7 | [m] ao ZH! |
| *(se não for possível garantir a cota mencionada o sistema não pode funcionar graviticamente)* | | |

| | |
|---|---|
| $D_{exu}$ | *Diâmetro do exutor;* |
| $Q_{desc}$ | *Caudal descarregado;* |
| $U_{desc}$ | *Velocidade média de escoamento;* |
| $\Delta H_{cont}$ | *Perda de carga contínua;* |
| $\Delta H_{CC}$ | *Perda de carga localizada à saida da câmara de carga* |
| $\Delta H_{total\ exu}$ | *Perda de carga global no exutor* |

**Comportamento Hidráulico**

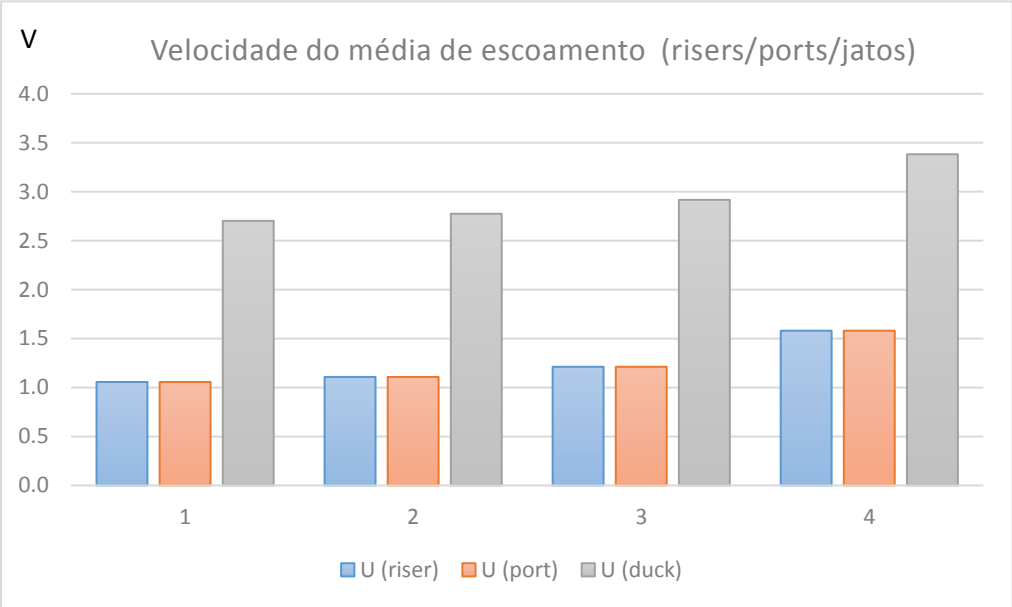
**Difusor**

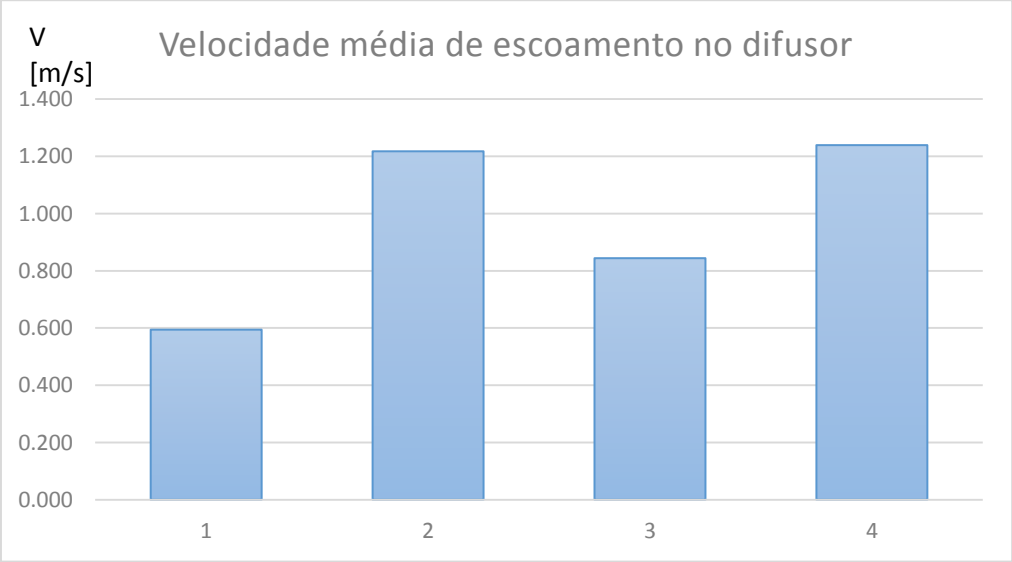
| Riser | q | P | $P/\gamma_{MAR}$ | $U_{dif}$ | $U_{riser}$ | $U_{port}$ | $U_{duck}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [L/s] | [kPa] | [m] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m/s] |
| 1 | 18.67 | 127.29 | 12.68 | 0.594 | 1.057 | 1.057 | 2.702 |
| 2 | 19.58 | 121.35 | 12.09 | 1.218 | 1.108 | 1.108 | 2.775 |
| 3 | 21.42 | 117.56 | 11.71 | 0.844 | 1.212 | 1.212 | 2.917 |
| 4 | 27.93 | 114.80 | 11.44 | 1.239 | 1.580 | 1.580 | 3.383 |
| $\sum$ | 87.60 | | | | | | |




| | |
|---|---|
| q | *Caudal descarregado em cada riser* |
| P | *Pressão relativa (eixo do difusor)* |
| $U_{dif}$ | *Velocidade média de escoamento - Difusor* |
| $U_{riser}$ | *Velocidade média de escoamento - Riser* |
| $U_{port}$ | *Velocidade média de escoamento - Porta* |
| $U_{duck}$ | *Velocidade média de escoamento - Válvula "Duckill"* |


p [kPa]
Pressão interna ao longo do difusor
130
128
126
124
122
120
118
116
114
112
110
108
1
2
3
4


V
Velocidade do média de escoamento (risers/ports/jatos)
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
1
2
3
4
U (riser)
U (port)
U (duck)


V
[m/s]
Velocidade média de escoamento no difusor
1.400
1.200
1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
1
2
3
4

**Intrusão salina (durante a descarga)**

| Riser | qi | ui (jato) | Dp,i | Fr | Intrusão |
|---|---|---|---|---|---|
| | [l/s] | [m/s] | [m] | [-] | |
| 1 | 18.7 | 2.70 | 0.15 | 14.1 | Ok! |
| 2 | 19.6 | 2.77 | 0.15 | 14.5 | Ok! |
| 3 | 21.4 | 2.92 | 0.15 | 15.2 | Ok! |
| 4 | 27.9 | 3.38 | 0.15 | 17.6 | Ok! |

Não existem problemas de intrusão salina

**Condições de Balneabilidade**

**Diluição / Dispersão / Die-off**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $D_i$ | 903.5855 | [-] | *Diluição inicial* |
| $D_h$ | 1.052458 | [-] | *Dispersão horizontal* |
| $D_b$ | 1.233178 | [-] | *Die-Off* |

| **Descarga** | | | | **Costa** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{totais}$ | 1.00E+07 | [un/100ml] | → | $C_{totais}$ | 8527.0781 | [un/100ml] |
| $C_{fecais}$ | 1.00E+06 | [un/100ml] | → | $C_{fecais}$ | 852.70781 | [un/100ml] |

**Dimensionamento Estrutural**

**Características da agitação marítima**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_R$ | 100 | [anos] | *Período de Retorno* |
| $H_{des}$ | 8.5 | [m] | *Altura de Onda de Projeto* |
| $T_{des}$ | 9 | [s] | *Período de Projeto* |
| $L_0$ | 126 | [m] | *Comprimento de Onda* |

| Zona de Rebentação | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Batimétrica | $(H/L_0)_{MÁX}$ | $H_{MÁXMiche}$ | 0.78*d | $H_{design}$ | Rebentação |
| [m] | [-] | [m] | [m] | [m] | |
| 1 | 0.0070 | 0.89 | 0.78 | 0.78 | Zona de Rebentação |
| 2 | 0.0140 | 1.78 | 1.56 | 1.56 | Zona de Rebentação |
| 3 | 0.0210 | 2.65 | 2.34 | 2.34 | Zona de Rebentação |
| 4 | 0.0278 | 3.52 | 3.12 | 3.12 | Zona de Rebentação |
| 5 | 0.0345 | 4.37 | 3.90 | 3.9 | Zona de Rebentação |
| 6 | 0.0411 | 5.19 | 4.68 | 4.68 | Zona de Rebentação |
| 7 | 0.0474 | 6.00 | 5.46 | 5.46 | Zona de Rebentação |
| 8 | 0.0536 | 6.77 | 6.24 | 6.24 | Zona de Rebentação |
| 9 | 0.0595 | 7.52 | 7.02 | 7.02 | Zona de Rebentação |
| 10 | 0.0652 | 8.24 | 7.80 | 7.8 | Zona de Rebentação |

Todo o emissário se localiza na Zona de Rebentação

## Comparação de Resultados

| Cenário | $\sum N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | |
|---|---|---|---|
| [-] | [-] | [$m^3$] | Descrição |
| 1 | 0 | 0 | *Todos os anéis diferentes* |
| 2 | 0 | 0 | *Todos os anéis iguais* |
| 3 | 0 | 0 | *Aneis iguais em intervalos de 100m* |
| 4 | 0 | 0 | *Apenas 2 tipos de anel* |

## Anéis de Afundamento - Zona de Rebetanção

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel | $V_{betão}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] | [$m^3$] |
| 0-1 | 0 | 0 | 6.7 | 258 | 0.10 | 0.68 |
| 1-2 | 0 | 0 | 6.7 | 258 | 0.10 | 0.68 |
| 2-3 | 0 | 0 | 6.7 | 258 | 0.10 | 0.68 |
| 3-4 | 0 | 0 | 6.7 | 258 | 0.10 | 0.68 |
| 4-5 | 0 | 0 | 6.7 | 258 | 0.10 | 0.68 |
| 5-6 | 0 | 0 | 5.3 | 258 | 0.10 | 0.54 |
| 6-7 | 0 | 0 | 5.3 | 258 | 0.10 | 0.54 |
| 7-8 | 0 | 0 | 5.3 | 258 | 0.10 | 0.54 |
| 8-9 | 0 | 0 | 5.3 | 258 | 0.10 | 0.54 |
| 9-10 | 0 | 0 | 5.3 | 258 | 0.10 | 0.54 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\sum N_{anéis}$ | 60.1 | | $V_{total\ betão}$ | 6.09 | [$m^3$] |

**Zona de Rebentação - Proteção de Enrocamento**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_{design}$ | 15 | [s] | *Período de Projeto* |
| S | 2 | [-] | *Nível de estragos admissível* |
| $\gamma_{material}$ | 29 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico dos Blocos* |
| $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $N_{PMAV}$ | 2.9 | [m] | *Nível de Água em Preia Mar* |
| tg $\theta$ | 0.5 | [-] | *Inclinação dos Taludes* |

Proteção de Enrocamento

| $Z_{fundo}$ | $N_{PMAV}$ | $Z_{coroamento}$ | $h_c$ | d | $H_{des}$ | $D_{n50}$ | $W_{van\ der\ Meer}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kN] | [kg] |
| 0 | 2.9 | 1.69 | 1.69 | 2.9 | 0.78 | 0.15 | 0.1 | 0.01 |
| -1 | 2.9 | 0.69 | 1.69 | 3.9 | 1.56 | 0.25 | 0.4 | 0.04 |
| -2 | 2.9 | -0.31 | 1.69 | 4.9 | 2.34 | 0.33 | 1.0 | 0.10 |
| -3 | 2.9 | -1.31 | 1.69 | 5.9 | 3.12 | 0.40 | 1.8 | 0.18 |
| -4 | 2.9 | -2.31 | 1.69 | 6.9 | 3.9 | 0.46 | 2.8 | 0.29 |
| -5 | 2.9 | -3.31 | 1.69 | 7.9 | 4.68 | 0.52 | 4.1 | 0.42 |
| -6 | 2.9 | -4.31 | 1.69 | 8.9 | 5.46 | 0.58 | 5.6 | 0.57 |
| -7 | 2.9 | -5.31 | 1.69 | 9.9 | 6.24 | 0.63 | 7.4 | 0.76 |
| -8 | 2.9 | -6.31 | 1.69 | 10.9 | 7.02 | 0.69 | 9.5 | 0.97 |
| -9 | 2.9 | -7.31 | 1.69 | 11.9 | 7.8 | 0.74 | 11.8 | 1.20 |
| -10 | 2.9 | -8.31 | 1.69 | 12.9 | 8.58 | 0.79 | 14.4 | 1.47 |

Escalonamento

Ribeira Brava - Proteção de Enrocamento

| $\Delta Z$ | $\Sigma L$ | Trecho | $h_c$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 33.6 | 1 | 1.25 | 0.35 | 0.12 | 12.3 |
| 1-2 | 67.1 | 1 | 1.25 | 0.35 | 0.12 | 12.3 |
| 2-3 | 100.7 | 1 | 1.25 | 0.35 | 0.12 | 12.3 |
| 3-4 | 134.3 | 2 | 1.44 | 0.54 | 0.48 | 47.7 |
| 4-5 | 167.8 | 2 | 1.44 | 0.54 | 0.48 | 47.7 |
| 5-6 | 194.3 | 2 | 1.44 | 0.54 | 0.48 | 47.7 |
| 6-7 | 220.8 | 3 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 7-8 | 247.3 | 3 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 8-9 | 273.8 | 3 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 9-10 | 300.3 | 3 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |

| Varíaveis | | |
|---|---|---|
| $T_R$ | [anos] | *Tempo de retorno* |
| $H_{máx}$ | [m] | *Altura máxima de onda* |
| T | [s] | *Período de Onda* |
| L | [m] | *Comprimento de Onda* |
| $(H/L)_{máx}$ | [-] | *Declividade máxima de Miche* |
| $H_{design}$ | [m] | *Altura de Onda de Dimensionamento* |
| $C_D$ | [-] | *Coeficiente de Resistência* |
| $C_M$ | [-] | *Coeficiente de Inércia* |
| $C_L$ | [-] | *Coeficiente de Sustentação* |
| $\gamma_{mar}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $\gamma_{betão}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico do Betão* |
| $\gamma_{PEAD}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da conduta de PEAD* |
| $W_{u.c.}$ | [kg/m] | *Massa Unitária da conduta de PEAD* |
| e | [m] | *Espaçamento entre Anéis* |
| Ø' | [°] | *Ângulo de Atrito da Interface Anel de Betão - Fundo Marítimo* |
| F.S. | [-] | *Fator de Segurança* |
| $F_H$ | [N/m] | *Força Horizontal unitária* |
| $F_V$ | [N/m] | *Força Vertical Unitária* |
| $N_{anéis}$ | [-] | *Número de Anéis de Betão* |
| $W_{anel}$ | [kg] | *Massa de um Anel de Betão* |
| $Z_{fundo}$ | [m] | *Cota do Fundo* |
| $N_{PMAV}$ | [m] | *Nível de água em Preia-Mar* |
| $Z_{coroamento}$ | [m] | *Cota do Coroamento* |
| $h_c$ | [m] | *Altura da Proteção de Enrocamento* |
| d | [m] | *Profundidade* |
| $W_{núcleo}$ | [kg] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Núcleo* |
| $W_{M.R.}$ | [t] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Manto Resistente* |
| $D_{n50}$ | [m] | *Dimensão Média dos Blocos* |

| | |
|---|---|
| ***Projeto:*** | **Emissário Submarino de Ribeira Brava - Solução B** |
| ***Instituição:*** | **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto** |
| ***Data:*** | **Maio/2014** |

U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Características do projeto**

**Caudal de Projeto** 0.0876 [$m^3/s$]

**Dados Geométricos**

**Emissário**

*Material* Polietileno de alta densidade

*Diâmetro* 300 [mm]

*Troço Marítimo* 300.3 [m] *Troço Terrestre* 367.7 [m]

**Difusor**

*Profundidade Máxima* 15 [m]

*Comprimento* 40 [m]

*Número de risers* 4 [m]

**Dimensionamento Hidráulico**

**Emissário**

| | | | | Perdas de carga | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{exu}$ | $Q_{desc}$ | $U_{desc}$ | $L_{exu}$ | $\Delta H_{cont}$ | $\Delta H_{cc}$ | $\Delta H_{total\ exu}$ |
| [mm] | [L/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 300 | 88 | 1.239 | 668 | 6.41 | 0.04 | 6.45 |

**Cota Piezométrica - ETAR**

| | | |
|---|---|---|
| Cota piezométrica mínima na ETAR | 10.1 | [m] ao ZH! |
| *(se não for possível garantir a cota mencionada o sistema não pode funcionar graviticamente)* | | |

$D_{exu}$ *Diâmetro do exutor;*

$Q_{desc}$ *Caudal descarregado;*

$U_{desc}$ *Velocidade média de escoamento;*

$\Delta H_{cont}$ *Perda de carga contínua;*

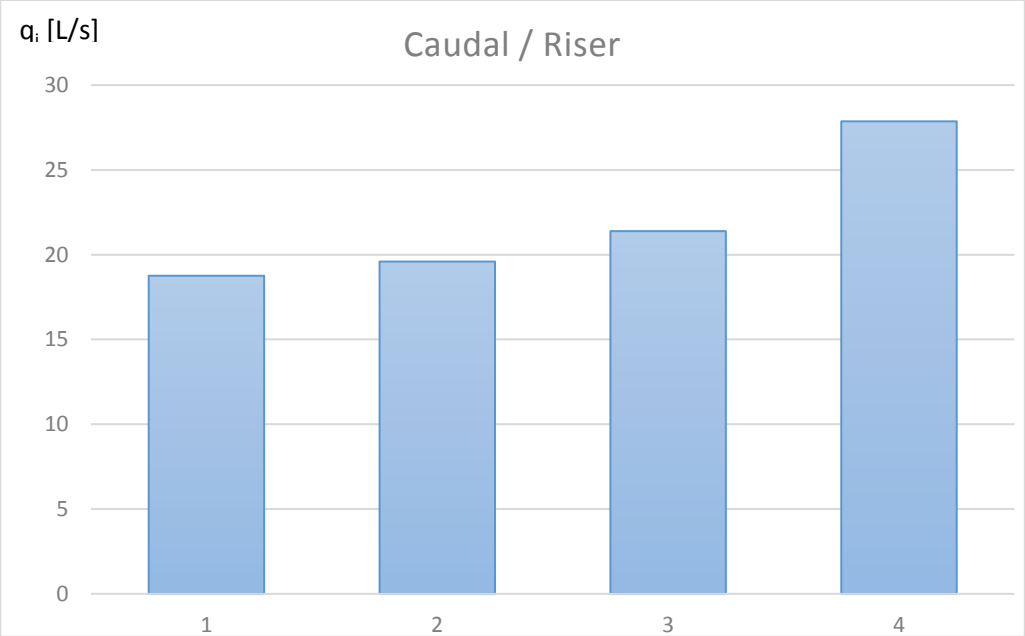
$\Delta H_{CC}$ *Perda de carga localizada à saida da câmara de carga*

$\Delta H_{total\ exu}$ *Perda de carga global no exutor*

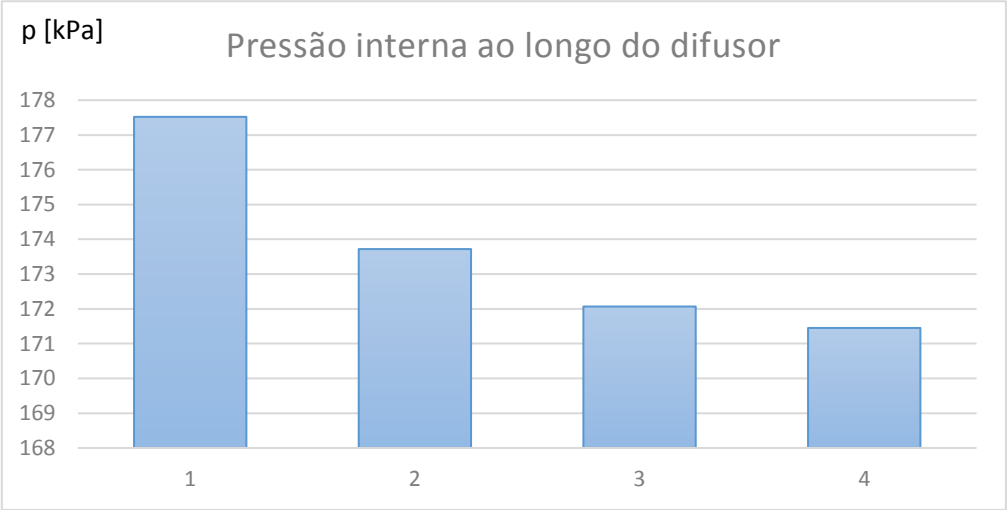
**Comportamento Hidráulico**

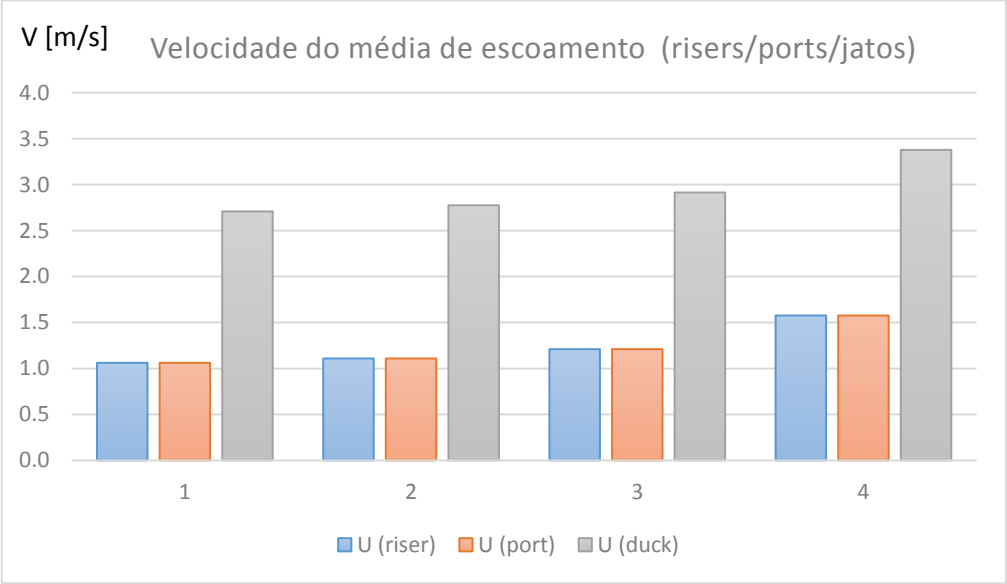
**Difusor**

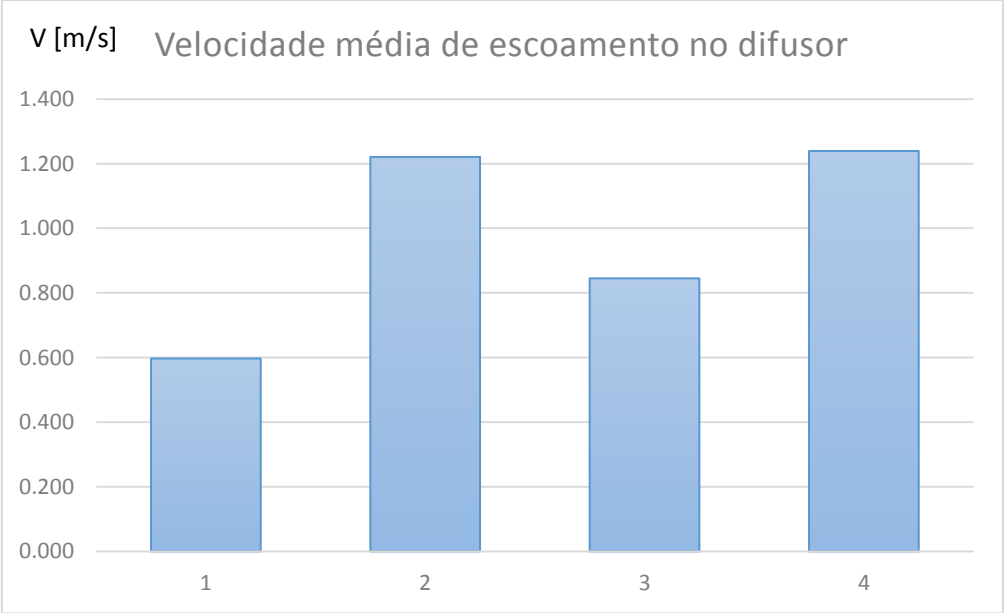
| Riser | q | P | $P/\gamma_{MAR}$ | $U_{dif}$ | $U_{riser}$ | $U_{port}$ | $U_{duck}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [L/s] | [kPa] | [m] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m/s] |
| 1 | 18.76 | 177.52 | 17.69 | 0.597 | 1.061 | 1.061 | 2.709 |
| 2 | 19.59 | 173.72 | 17.31 | 1.221 | 1.109 | 1.109 | 2.776 |
| 3 | 21.39 | 172.07 | 17.15 | 0.845 | 1.210 | 1.210 | 2.915 |
| 4 | 27.86 | 171.45 | 17.08 | 1.239 | 1.577 | 1.577 | 3.378 |
| $\sum$ | 38.35 | | | | | | |




| | |
|---|---|
| q | *Caudal descarregado em cada riser* |
| P | *Pressão relativa (eixo do difusor)* |
| $U_{dif}$ | *Velocidade média de escoamento - Difusor* |
| $U_{riser}$ | *Velocidade média de escoamento - Riser* |
| $U_{port}$ | *Velocidade média de escoamento - Porta* |
| $U_{duck}$ | *Velocidade média de escoamento - Válvula "Duckill"* |


p [kPa]
Pressão interna ao longo do difusor
178
177
176
175
174
173
172
171
170
169
168
1
2
3
4


V [m/s]
Velocidade do média de escoamento (risers/ports/jatos)
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
1
2
3
4
U (riser)
U (port)
U (duck)


V [m/s]
Velocidade média de escoamento no difusor
1.400
1.200
1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
1
2
3
4

**Intrusão salina (durante a descarga)**

| Riser | qi | ui (jato) | Dp,i | Fr | Intrusão |
|---|---|---|---|---|---|
| | [l/s] | [m/s] | [m] | [-] | |
| 1 | 18.8 | 2.71 | 0.15 | 14.1 | Ok! |
| 2 | 19.6 | 2.78 | 0.15 | 14.5 | Ok! |
| 3 | 21.4 | 2.91 | 0.15 | 15.2 | Ok! |
| 4 | 27.9 | 3.38 | 0.15 | 17.6 | Ok! |

Não existem problemas de intrusão salina

**Eficiência Ambiental**

**Diluição / Dispersão / Die-off**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $D_i$ | 1525.586 | [-] | *Diluição inicial* |
| $D_h$ | 1.166346 | [-] | *Dispersão horizontal* |
| $D_b$ | 1.532494 | [-] | *Die-Off* |

| **Descarga** | | | | **Costa** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{totais}$ | 1.00E+07 | [un/dia] | → | $C_{totais}$ | 3667.22 | [un/dia] |
| $C_{fecais}$ | 1.00E+06 | [un/dia] | → | $C_{fecais}$ | 366.722 | [un/dia] |

**Dimensionamento Estrutural**

**Características da agitação marítima**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_R$ | 100 | [anos] | *Período de Retorno* |
| $H_{des}$ | 8.5 | [m] | *Altura de Onda de Projeto* |
| $T_{des}$ | 9 | [s] | *Período de Projeto* |
| $L_0$ | 126 | [m] | *Comprimento de Onda* |

| Zona de Rebentação | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Batimétrica | $(H/L_0)_{MÁX}$ | $H_{MÁXMiche}$ | 0.78*d | $H_{design}$ | Rebentação |
| [m] | [-] | [m] | [m] | [m] | |
| 1 | 0.0070 | 0.89 | 0.78 | 0.78 | Zona de Rebentação |
| 2 | 0.0140 | 1.78 | 1.56 | 1.56 | Zona de Rebentação |
| 3 | 0.0210 | 2.65 | 2.34 | 2.34 | Zona de Rebentação |
| 4 | 0.0278 | 3.52 | 3.12 | 3.12 | Zona de Rebentação |
| 5 | 0.0345 | 4.37 | 3.90 | 3.9 | Zona de Rebentação |
| 6 | 0.0411 | 5.19 | 4.68 | 4.68 | Zona de Rebentação |
| 7 | 0.0474 | 6.00 | 5.46 | 5.46 | Zona de Rebentação |
| 8 | 0.0536 | 6.77 | 6.24 | 6.24 | Zona de Rebentação |
| 9 | 0.0595 | 7.52 | 7.02 | 7.02 | Zona de Rebentação |
| 10 | 0.0652 | 8.24 | 7.80 | 7.8 | Zona de Rebentação |
| 11 | 0.0706 | 8.93 | 8.58 | 8.5 | Ok |
| 12 | 0.0758 | 9.58 | 9.36 | 8.5 | Ok |
| 13 | 0.0807 | 10.20 | 10.14 | 8.5 | Ok |
| 14 | 0.0853 | 10.79 | 10.92 | 8.5 | Ok |
| 15 | 0.0897 | 11.34 | 11.70 | 8.5 | Ok |

| Dimensionamento de anéis de betão | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CD | 2 | | $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | | e | 5 | [m] |
| CM | 2 | | $\gamma_{betão}$ | 25 | [kN/m$^3$] | | Ø' | 30 | [$^o$] |
| CL | 1 | | $\gamma_{PEAD}$ | 8.829 | [kN/m$^3$] | | F.S. | 1.5 | [-] |
| | | | $W_{u.c.}$ | 0.140283 | [kg/m] | | kN/m | | |

**Cenário 1 - Solução optimizada, Todos os anéis diferentes**

| $\Delta$Z | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [m$^3$] |
| 0-1 | 0 | Zona de Rebentação | | | |
| 1-2 | 117 | | | | |
| 2-3 | 233 | | | | |
| 3-4 | 350 | | | | |
| 4-5 | 500 | | | | |
| 5-6 | 685 | | | | |
| 6-7 | 901 | | | | |
| 7-8 | 1142 | | | | |
| 8-9 | 1400 | | | | |
| 9-10 | 1667 | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 2 | 5254 | 2.06 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 2 | 4999 | 1.96 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 2 | 4743 | 1.86 |

**Cenário 2 - Todos os anéis iguais**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 2 | 5505 | 2.16 |

**Cenário 3 - Blocos diferentes em intervalos de 100m**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 2 | 5505 | 2.16 |

**Cenário 4 - Apenas 2 tipos de anéis**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 2 | 5505 | 2.16 |

## Comparação de Resultados

| Cenário | $\sum N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | |
|---|---|---|---|
| [-] | [-] | [$m^3$] | Descrição |
| 1 | 10.99989 | 22 | *Todos os anéis diferentes* |
| 2 | 10.99989 | 24 | *Todos os anéis iguais* |
| 3 | 10.99989 | 24 | *Aneis iguais em intervalos de 100m* |
| 4 | 10.99989 | 24 | *Apenas 2 tipos de anel* |

## Anéis de Afundamento - Zona de Rebetanção

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel | $V_{betão}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] | [$m^3$] |
| 0-1 | 0 | 0 | 6.7 | 258 | 0.10 | 0.68 |
| 1-2 | 0 | 0 | 6.7 | 258 | 0.10 | 0.68 |
| 2-3 | 0 | 0 | 6.7 | 258 | 0.10 | 0.68 |
| 3-4 | 0 | 0 | 6.7 | 258 | 0.10 | 0.68 |
| 4-5 | 0 | 0 | 6.7 | 258 | 0.10 | 0.68 |
| 5-6 | 0 | 0 | 5.3 | 258 | 0.10 | 0.54 |
| 6-7 | 0 | 0 | 5.3 | 258 | 0.10 | 0.54 |
| 7-8 | 0 | 0 | 5.3 | 258 | 0.10 | 0.54 |
| 8-9 | 0 | 0 | 5.3 | 258 | 0.10 | 0.54 |
| 9-10 | 0 | 0 | 5.3 | 258 | 0.10 | 0.54 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $\sum N_{anéis}$ | 60.1 | $V_{total\ betão}$ | 6.09 | [$m^3$] |

**Zona de Rebentação - Proteção de Enrocamento**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_{design}$ | 15 | [s] | *Período de Projeto* |
| S | 2 | [-] | *Nível de estragos admissível* |
| $\gamma_{material}$ | 29 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico dos Blocos* |
| $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $N_{PMAV}$ | 2.9 | [m] | *Nível de Água em Preia Mar* |
| tg $\theta$ | 0.5 | [-] | *Inclinação dos Taludes* |

Proteção de Enrocamento

| $Z_{fundo}$ | $N_{PMAV}$ | $Z_{coroamento}$ | $h_c$ | d | $H_{des}$ | $D_{n50}$ | $W_{van\ der\ Meer}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kN] | [kg] |
| 0 | 2.9 | 1.69 | 1.69 | 2.9 | 0.78 | 0.15 | 0.1 | 0.01 |
| -1 | 2.9 | 0.69 | 1.69 | 3.9 | 1.56 | 0.25 | 0.4 | 0.04 |
| -2 | 2.9 | -0.31 | 1.69 | 4.9 | 2.34 | 0.33 | 1.0 | 0.10 |
| -3 | 2.9 | -1.31 | 1.69 | 5.9 | 3.12 | 0.40 | 1.8 | 0.18 |
| -4 | 2.9 | -2.31 | 1.69 | 6.9 | 3.9 | 0.46 | 2.8 | 0.29 |
| -5 | 2.9 | -3.31 | 1.69 | 7.9 | 4.68 | 0.52 | 4.1 | 0.42 |
| -6 | 2.9 | -4.31 | 1.69 | 8.9 | 5.46 | 0.58 | 5.6 | 0.57 |
| -7 | 2.9 | -5.31 | 1.69 | 9.9 | 6.24 | 0.63 | 7.4 | 0.76 |
| -8 | 2.9 | -6.31 | 1.69 | 10.9 | 7.02 | 0.69 | 9.5 | 0.97 |
| -9 | 2.9 | -7.31 | 1.69 | 11.9 | 7.8 | 0.74 | 11.8 | 1.20 |
| -10 | 2.9 | -8.31 | 1.69 | 12.9 | 8.58 | 0.79 | 14.4 | 1.47 |

Escalonamento

Ribeira Brava - Proteção de Enrocamento

| $\Delta Z$ | $\Sigma L$ | Trecho | $h_c$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 33.6 | 1 | 1.25 | 0.35 | 0.12 | 12.3 |
| 1-2 | 67.1 | 1 | 1.25 | 0.35 | 0.12 | 12.3 |
| 2-3 | 100.7 | 1 | 1.25 | 0.35 | 0.12 | 12.3 |
| 3-4 | 134.3 | 2 | 1.44 | 0.54 | 0.48 | 47.7 |
| 4-5 | 167.8 | 2 | 1.44 | 0.54 | 0.48 | 47.7 |
| 5-6 | 194.3 | 2 | 1.44 | 0.54 | 0.48 | 47.7 |
| 6-7 | 220.8 | 3 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 7-8 | 247.3 | 3 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 8-9 | 273.8 | 3 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 9-10 | 300.3 | 3 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |

| Varíaveis | | |
|---|---|---|
| $T_R$ | [anos] | *Tempo de retorno* |
| $H_{máx}$ | [m] | *Altura máxima de onda* |
| T | [s] | *Período de Onda* |
| L | [m] | *Comprimento de Onda* |
| $(H/L)_{máx}$ | [-] | *Declividade máxima de Miche* |
| $H_{design}$ | [m] | *Altura de Onda de Dimensionamento* |
| $C_D$ | [-] | *Coeficiente de Resistência* |
| $C_M$ | [-] | *Coeficiente de Inércia* |
| $C_L$ | [-] | *Coeficiente de Sustentação* |
| $\gamma_{mar}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $\gamma_{betão}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico do Betão* |
| $\gamma_{PEAD}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da conduta de PEAD* |
| $W_{u.c.}$ | [kg/m] | *Massa Unitária da conduta de PEAD* |
| e | [m] | *Espaçamento entre Anéis* |
| Ø' | [°] | *Ângulo de Atrito da Interface Anel de Betão - Fundo Marítimo* |
| F.S. | [-] | *Fator de Segurança* |
| $F_H$ | [N/m] | *Força Horizontal unitária* |
| $F_V$ | [N/m] | *Força Vertical Unitária* |
| $N_{anéis}$ | [-] | *Número de Anéis de Betão* |
| $W_{anel}$ | [kg] | *Massa de um Anel de Betão* |
| $Z_{fundo}$ | [m] | *Cota do Fundo* |
| $N_{PMAV}$ | [m] | *Nível de água em Preia-Mar* |
| $Z_{coroamento}$ | [m] | *Cota do Coroamento* |
| $h_c$ | [m] | *Altura da Proteção de Enrocamento* |
| d | [m] | *Profundidade* |
| $W_{núcleo}$ | [kg] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Núcleo* |
| $W_{M.R.}$ | [t] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Manto Resistente* |
| $D_{n50}$ | [m] | *Dimensão Média dos Blocos* |

| | |
|---|---|
| ***Projeto:*** | **Emissário Submarino de Ribeira Brava - Solução C** |
| ***Instituição:*** | **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto** |
| ***Data:*** | **Maio/2014** |

U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Características do projeto**

**Caudal de Projeto** 0.0433 [$m^3/s$]

**Dados Geométricos**

**Emissário**

*Material* Polietileno de alta densidade

*Diâmetro* 300 [mm]

*Troço Marítimo* 167.8 [m] *Troço Terrestre* 367.7 [m]

**Difusor**

*Profundidade Máxima* 10 [m]

*Comprimento* 40 [m]

*Número de risers* 4 [m]

**Dimensionamento Hidráulico**

**Emissário**

| | | | | Perdas de carga | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{exu}$ | $Q_{desc}$ | $U_{desc}$ | $L_{exu}$ | $\Delta H_{cont}$ | $\Delta H_{cc}$ | $\Delta H_{total\ exu}$ |
| [mm] | [L/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 300 | 43 | 0.613 | 535.5 | 1.36 | 0.01 | 1.37 |

**Cota Piezométrica - ETAR**

| | | |
|---|---|---|
| Cota piezométrica mínima na ETAR | 4.1 | [m] ao ZH! |
| *(se não for possível garantir a cota mencionada o sistema não pode funcionar graviticamente)* | | |

$D_{exu}$ *Diâmetro do exutor;*

$Q_{desc}$ *Caudal descarregado;*

$U_{desc}$ *Velocidade média de escoamento;*

$\Delta H_{cont}$ *Perda de carga contínua;*

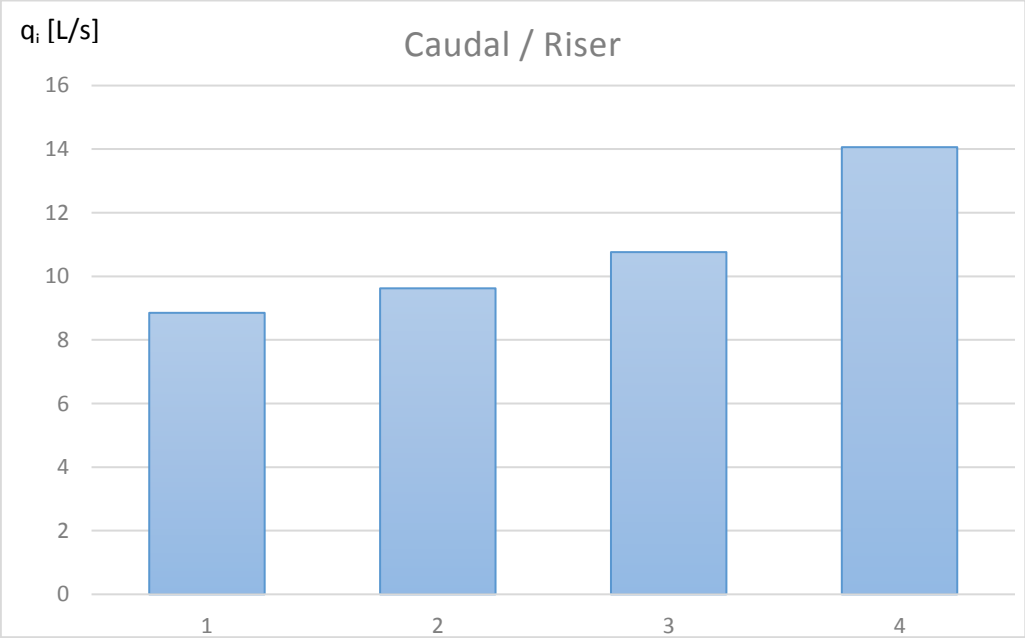
$\Delta H_{CC}$ *Perda de carga localizada à saida da câmara de carga*

$\Delta H_{total\ exu}$ *Perda de carga global no exutor*

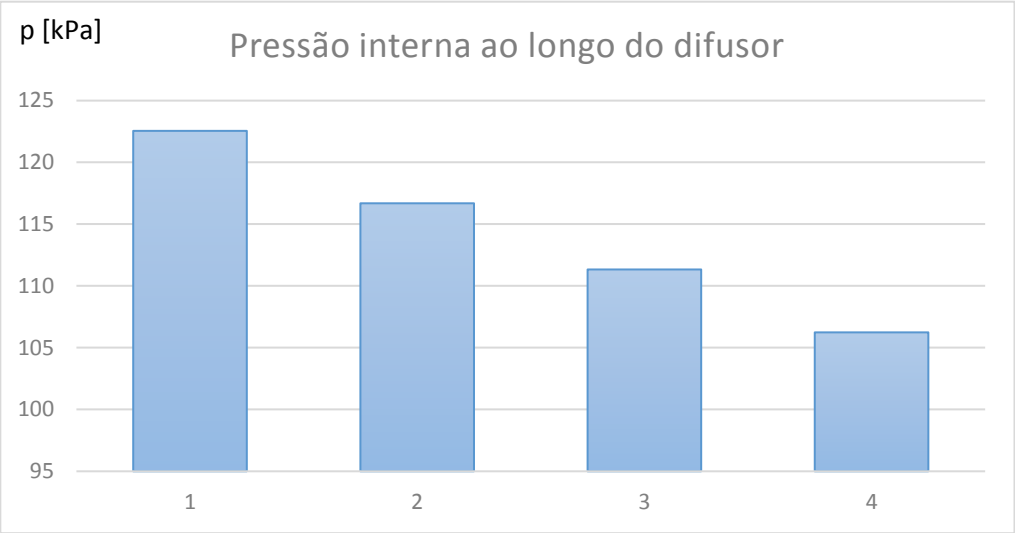
**Comportamento Hidráulico**

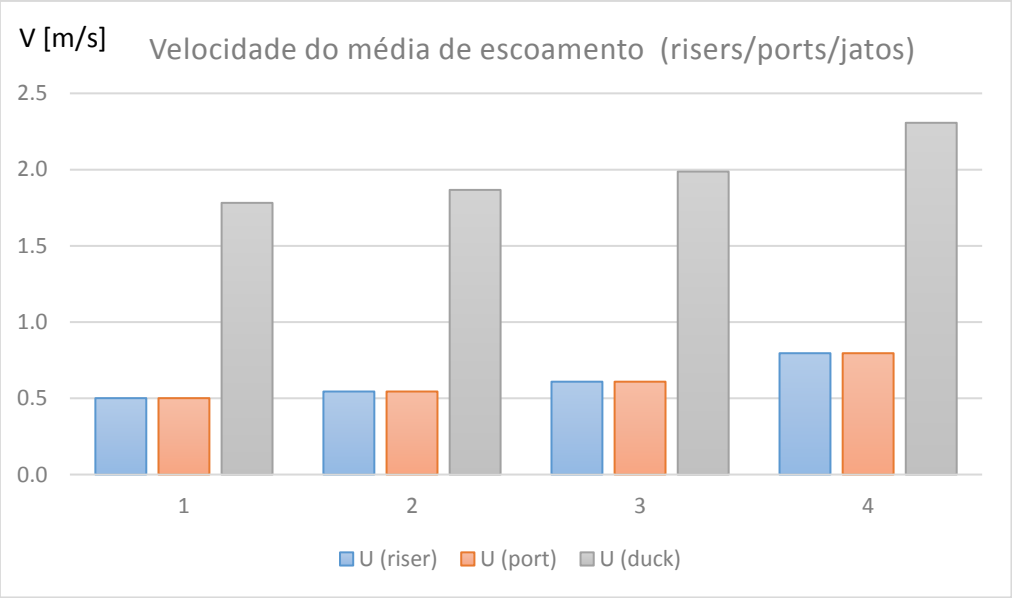
**Difusor**

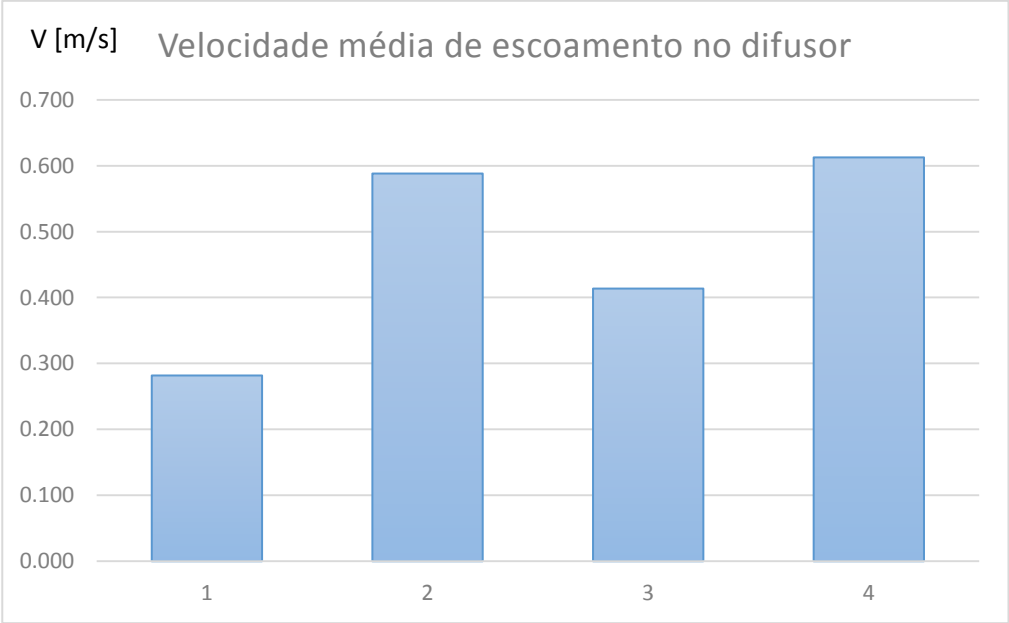
| Riser | q | P | $P/\gamma_{MAR}$ | $U_{dif}$ | $U_{riser}$ | $U_{port}$ | $U_{duck}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [L/s] | [kPa] | [m] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m/s] |
| 1 | 8.85 | 122.55 | 12.21 | 0.282 | 0.501 | 0.501 | 1.782 |
| 2 | 9.62 | 116.69 | 11.63 | 0.588 | 0.545 | 0.545 | 1.867 |
| 3 | 10.76 | 111.33 | 11.09 | 0.414 | 0.609 | 0.609 | 1.987 |
| 4 | 14.06 | 106.24 | 10.59 | 0.613 | 0.796 | 0.796 | 2.307 |
| $\sum$ | 43.30 | | | | | | |




| | |
|---|---|
| q | *Caudal descarregado em cada riser* |
| P | *Pressão relativa (eixo do difusor)* |
| $U_{dif}$ | *Velocidade média de escoamento - Difusor* |
| $U_{riser}$ | *Velocidade média de escoamento - Riser* |
| $U_{port}$ | *Velocidade média de escoamento - Porta* |
| $U_{duck}$ | *Velocidade média de escoamento - Válvula "Duckill"* |


p [kPa]
Pressão interna ao longo do difusor
125
120
115
110
105
100
95
1
2
3
4


V [m/s]
Velocidade do média de escoamento (risers/ports/jatos)
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
1
2
3
4
U (riser)
U (port)
U (duck)


V [m/s]
Velocidade média de escoamento no difusor
0.700
0.600
0.500
0.400
0.300
0.200
0.100
0.000
1
2
3
4

**Intrusão salina (durante a descarga)**

| Riser | qi | ui (jato) | Dp,i | Fr | Intrusão |
|---|---|---|---|---|---|
| | [l/s] | [m/s] | [m] | [-] | |
| 1 | 8.9 | 1.78 | 0.15 | 9.3 | Ok! |
| 2 | 9.6 | 1.87 | 0.15 | 9.7 | Ok! |
| 3 | 10.8 | 1.99 | 0.15 | 10.3 | Ok! |
| 4 | 14.1 | 2.31 | 0.15 | 12.0 | Ok! |

Não existem problemas de intrusão salina

**Eficiência Ambiental**

**Diluição / Dispersão / Die-off**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $D_i$ | 2312.016 | [-] | *Diluição inicial* |
| $D_h$ | 1.052458 | [-] | *Dispersão horizontal* |
| $D_b$ | 1.233178 | [-] | *Die-Off* |

| **Descarga** | | | | **Costa** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{totais}$ | 1.00E+07 | [un/100ml] | → | $C_{totais}$ | 3332.565 | [un/100ml] |
| $C_{fecais}$ | 1.00E+06 | [un/100ml] | → | $C_{fecais}$ | 333.2565 | [un/100ml] |

**Dimensionamento Estrutural**

**Características da agitação marítima**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_R$ | 100 | [anos] | *Período de Retorno* |
| $H_{des}$ | 8.5 | [m] | *Altura de Onda de Projeto* |
| $T_{des}$ | 9 | [s] | *Período de Projeto* |
| $L_0$ | 126 | [m] | *Comprimento de Onda* |

| Zona de Rebentação | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Batimétrica | $(H/L_0)_{MÁX}$ | $H_{MÁXMiche}$ | 0.78*d | $H_{design}$ | Rebentação |
| [m] | [-] | [m] | [m] | [m] | |
| 1 | 0.0070 | 0.89 | 0.78 | 0.78 | Zona de Rebentação |
| 2 | 0.0140 | 1.78 | 1.56 | 1.56 | Zona de Rebentação |
| 3 | 0.0210 | 2.65 | 2.34 | 2.34 | Zona de Rebentação |
| 4 | 0.0278 | 3.52 | 3.12 | 3.12 | Zona de Rebentação |
| 5 | 0.0345 | 4.37 | 3.90 | 3.9 | Zona de Rebentação |
| 6 | 0.0411 | 5.19 | 4.68 | 4.68 | Zona de Rebentação |
| 7 | 0.0474 | 6.00 | 5.46 | 5.46 | Zona de Rebentação |
| 8 | 0.0536 | 6.77 | 6.24 | 6.24 | Zona de Rebentação |
| 9 | 0.0595 | 7.52 | 7.02 | 7.02 | Zona de Rebentação |
| 10 | 0.0652 | 8.24 | 7.80 | 7.8 | Zona de Rebentação |

Todo o emissário se localiza na Zona de Rebentação

## Comparação de Resultados

| Cenário | $\sum N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | |
|---|---|---|---|
| [-] | [-] | [$m^3$] | Descrição |
| 1 | 0 | 0 | *Todos os anéis diferentes* |
| 2 | 0 | 0 | *Todos os anéis iguais* |
| 3 | 0 | 0 | *Aneis iguais em intervalos de 100m* |
| 4 | 0 | 0 | *Apenas 2 tipos de anel* |

## Anéis de Afundamento - Zona de Rebetanção

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel | $V_{betão}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] | [$m^3$] |
| 0-1 | 0 | 0 | 6.7 | 258 | 0.10 | 0.68 |
| 1-2 | 0 | 0 | 6.7 | 258 | 0.10 | 0.68 |
| 2-3 | 0 | 0 | 6.7 | 258 | 0.10 | 0.68 |
| 3-4 | 0 | 0 | 6.7 | 258 | 0.10 | 0.68 |
| 4-5 | 0 | 0 | 6.7 | 258 | 0.10 | 0.68 |
| 5-6 | 0 | 0 | 5.3 | 258 | 0.10 | 0.54 |
| 6-7 | 0 | 0 | 5.3 | 258 | 0.10 | 0.54 |
| 7-8 | 0 | 0 | 5.3 | 258 | 0.10 | 0.54 |
| 8-9 | 0 | 0 | 5.3 | 258 | 0.10 | 0.54 |
| 9-10 | 0 | 0 | 5.3 | 258 | 0.10 | 0.54 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\sum N_{anéis}$ | 60.1 | | $V_{total\ betão}$ | 6.09 | [$m^3$] |

**Zona de Rebentação - Proteção de Enrocamento**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_{design}$ | 15 | [s] | *Período de Projeto* |
| S | 2 | [-] | *Nível de estragos admissível* |
| $\gamma_{material}$ | 29 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico dos Blocos* |
| $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $N_{PMAV}$ | 2.9 | [m] | *Nível de Água em Preia Mar* |
| tg $\theta$ | 0.5 | [-] | *Inclinação dos Taludes* |

Proteção de Enrocamento

| $Z_{fundo}$ | $N_{PMAV}$ | $Z_{coroamento}$ | $h_c$ | d | $H_{des}$ | $D_{n50}$ | $W_{van\ der\ Meer}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kN] | [kg] |
| 0 | 2.9 | 1.69 | 1.69 | 2.9 | 0.78 | 0.15 | 0.1 | 0.01 |
| -1 | 2.9 | 0.69 | 1.69 | 3.9 | 1.56 | 0.25 | 0.4 | 0.04 |
| -2 | 2.9 | -0.31 | 1.69 | 4.9 | 2.34 | 0.33 | 1.0 | 0.10 |
| -3 | 2.9 | -1.31 | 1.69 | 5.9 | 3.12 | 0.40 | 1.8 | 0.18 |
| -4 | 2.9 | -2.31 | 1.69 | 6.9 | 3.9 | 0.46 | 2.8 | 0.29 |
| -5 | 2.9 | -3.31 | 1.69 | 7.9 | 4.68 | 0.52 | 4.1 | 0.42 |
| -6 | 2.9 | -4.31 | 1.69 | 8.9 | 5.46 | 0.58 | 5.6 | 0.57 |
| -7 | 2.9 | -5.31 | 1.69 | 9.9 | 6.24 | 0.63 | 7.4 | 0.76 |
| -8 | 2.9 | -6.31 | 1.69 | 10.9 | 7.02 | 0.69 | 9.5 | 0.97 |
| -9 | 2.9 | -7.31 | 1.69 | 11.9 | 7.8 | 0.74 | 11.8 | 1.20 |
| -10 | 2.9 | -8.31 | 1.69 | 12.9 | 8.58 | 0.79 | 14.4 | 1.47 |

Escalonamento

Ribeira Brava - Proteção de Enrocamento

| $\Delta Z$ | $\Sigma L$ | Trecho | $h_c$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 33.6 | 1 | 1.25 | 0.35 | 0.12 | 12.3 |
| 1-2 | 67.1 | 1 | 1.25 | 0.35 | 0.12 | 12.3 |
| 2-3 | 100.7 | 1 | 1.25 | 0.35 | 0.12 | 12.3 |
| 3-4 | 134.3 | 2 | 1.44 | 0.54 | 0.48 | 47.7 |
| 4-5 | 167.8 | 2 | 1.44 | 0.54 | 0.48 | 47.7 |
| 5-6 | 194.3 | 2 | 1.44 | 0.54 | 0.48 | 47.7 |
| 6-7 | 220.8 | 3 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 7-8 | 247.3 | 3 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 8-9 | 273.8 | 3 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 9-10 | 300.3 | 3 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |

| Varíaveis | | |
|---|---|---|
| $T_R$ | [anos] | *Tempo de retorno* |
| $H_{máx}$ | [m] | *Altura máxima de onda* |
| T | [s] | *Período de Onda* |
| L | [m] | *Comprimento de Onda* |
| $(H/L)_{máx}$ | [-] | *Declividade máxima de Miche* |
| $H_{design}$ | [m] | *Altura de Onda de Dimensionamento* |
| $C_D$ | [-] | *Coeficiente de Resistência* |
| $C_M$ | [-] | *Coeficiente de Inércia* |
| $C_L$ | [-] | *Coeficiente de Sustentação* |
| $\gamma_{mar}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $\gamma_{betão}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico do Betão* |
| $\gamma_{PEAD}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da conduta de PEAD* |
| $W_{u.c.}$ | [kg/m] | *Massa Unitária da conduta de PEAD* |
| e | [m] | *Espaçamento entre Anéis* |
| Ø' | [°] | *Ângulo de Atrito da Interface Anel de Betão - Fundo Marítimo* |
| F.S. | [-] | *Fator de Segurança* |
| $F_H$ | [N/m] | *Força Horizontal unitária* |
| $F_V$ | [N/m] | *Força Vertical Unitária* |
| $N_{anéis}$ | [-] | *Número de Anéis de Betão* |
| $W_{anel}$ | [kg] | *Massa de um Anel de Betão* |
| $Z_{fundo}$ | [m] | *Cota do Fundo* |
| $N_{PMAV}$ | [m] | *Nível de água em Preia-Mar* |
| $Z_{coroamento}$ | [m] | *Cota do Coroamento* |
| $h_c$ | [m] | *Altura da Proteção de Enrocamento* |
| d | [m] | *Profundidade* |
| $W_{núcleo}$ | [kg] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Núcleo* |
| $W_{M.R.}$ | [t] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Manto Resistente* |
| $D_{n50}$ | [m] | *Dimensão Média dos Blocos* |

| | |
|---|---|
| ***Projeto:*** | **Emissário Submarino de Ribeira Brava - Solução D** |
| ***Instituição:*** | **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto** |
| ***Data:*** | **Maio/2014** |

U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Características do projeto**

**Caudal de Projeto** 0.0433 [$m^3/s$]

**Dados Geométricos**

**Emissário**

*Material* Polietileno de alta densidade

*Diâmetro* 300 [mm]

*Troço Marítimo* 300.3 [m] *Troço Terrestre* 367.7 [m]

**Difusor**

*Profundidade Máxima* 15 [m]

*Comprimento* 40 [m]

*Número de risers* 4 [m]

**Dimensionamento Hidráulico**

**Emissário**

| | | | | Perdas de carga | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $D_{exu}$ | $Q_{desc}$ | $U_{desc}$ | $L_{exu}$ | $\Delta H_{cont}$ | $\Delta H_{cc}$ | $\Delta H_{total\ exu}$ |
| [mm] | [L/s] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 300 | 43 | 0.613 | 668 | 1.70 | 0.01 | 1.71 |

**Cota Piezométrica - ETAR**

| | | |
|---|---|---|
| Cota piezométrica mínima na ETAR | 4.5 | [m] ao ZH! |
| *(se não for possível garantir a cota mencionada o sistema não pode funcionar graviticamente)* | | |

$D_{exu}$ *Diâmetro do exutor;*

$Q_{desc}$ *Caudal descarregado;*

$U_{desc}$ *Velocidade média de escoamento;*

$\Delta H_{cont}$ *Perda de carga contínua;*

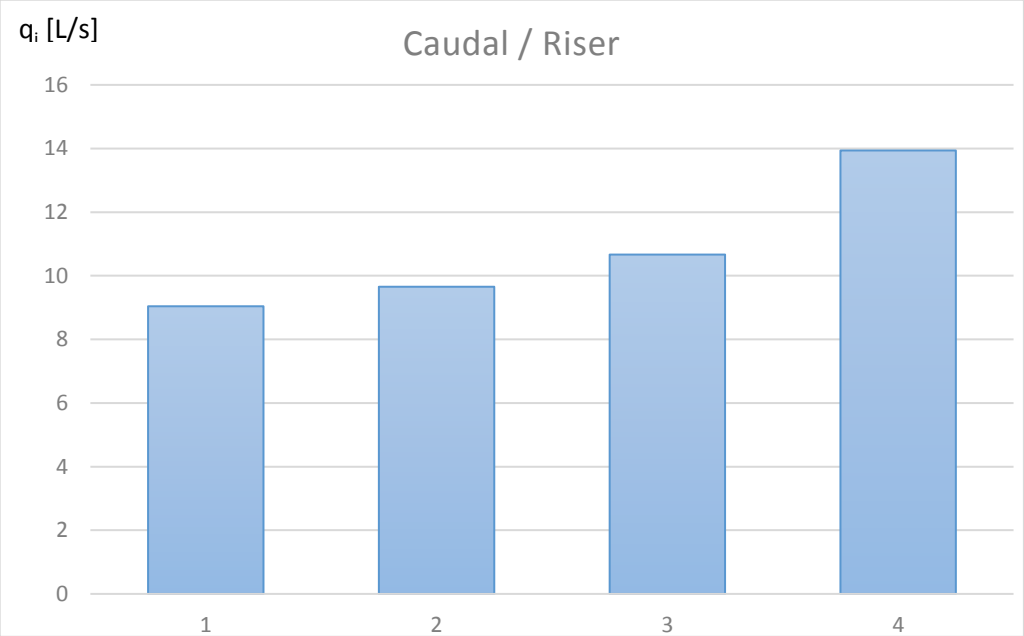
$\Delta H_{CC}$ *Perda de carga localizada à saida da câmara de carga*

$\Delta H_{total\ exu}$ *Perda de carga global no exutor*

**Comportamento Hidráulico**

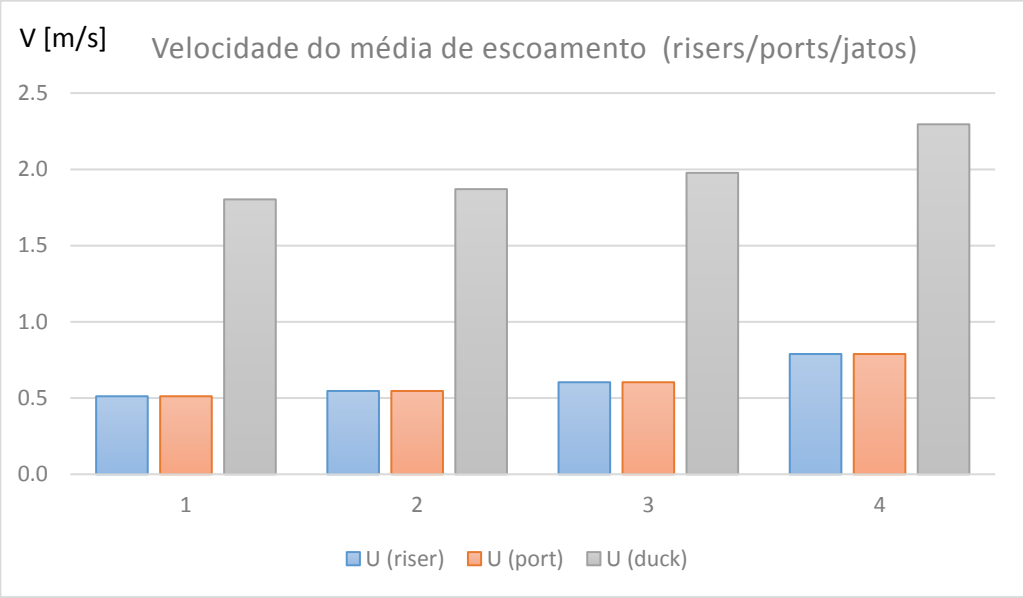
**Difusor**

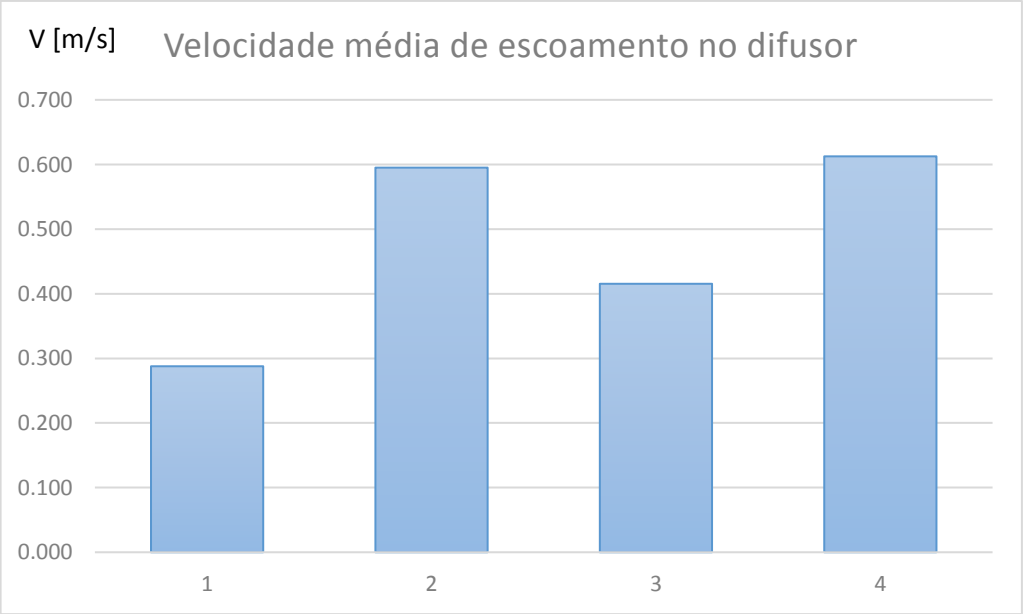
| Riser | q | P | $P/\gamma_{MAR}$ | $U_{dif}$ | $U_{riser}$ | $U_{port}$ | $U_{duck}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [L/s] | [kPa] | [m] | [m/s] | [m/s] | [m/s] | [m/s] |
| 1 | 9.04 | 172.79 | 17.22 | 0.288 | 0.512 | 0.512 | 1.803 |
| 2 | 9.65 | 169.06 | 16.85 | 0.595 | 0.546 | 0.546 | 1.870 |
| 3 | 10.67 | 165.85 | 16.53 | 0.415 | 0.604 | 0.604 | 1.977 |
| 4 | 13.94 | 162.90 | 16.23 | 0.613 | 0.789 | 0.789 | 2.295 |
| $\sum$ | 43.30 | | | | | | |




| | |
|---|---|
| q | *Caudal descarregado em cada riser* |
| P | *Pressão relativa (eixo do difusor)* |
| $U_{dif}$ | *Velocidade média de escoamento - Difusor* |
| $U_{riser}$ | *Velocidade média de escoamento - Riser* |
| $U_{port}$ | *Velocidade média de escoamento - Porta* |
| $U_{duck}$ | *Velocidade média de escoamento - Válvula "Duckill"* |


p [kPa]
Pressão interna ao longo do difusor
174
172
170
168
166
164
162
160
158
156
1
2
3
4


V [m/s]
Velocidade do média de escoamento (risers/ports/jatos)
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
1
2
3
4
U (riser)
U (port)
U (duck)


V [m/s]
Velocidade média de escoamento no difusor
0.700
0.600
0.500
0.400
0.300
0.200
0.100
0.000
1
2
3
4

**Intrusão salina (durante a descarga)**

| Riser | qi | ui (jato) | Dp,i | Fr | Intrusão |
|---|---|---|---|---|---|
| | [l/s] | [m/s] | [m] | [-] | |
| 1 | 9.0 | 1.80 | 0.15 | 9.4 | Ok! |
| 2 | 9.7 | 1.87 | 0.15 | 9.7 | Ok! |
| 3 | 10.7 | 1.98 | 0.15 | 10.3 | Ok! |
| 4 | 13.9 | 2.30 | 0.15 | 12.0 | Ok! |

Não existem problemas de intrusão salina

**Eficiência Ambiental**

**Diluição / Dispersão / Die-off**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $D_i$ | 3903.538 | [-] | *Diluição inicial* |
| $D_h$ | 1.166346 | [-] | *Dispersão horizontal* |
| $D_b$ | 1.532494 | [-] | *Die-Off* |

| **Descarga** | | | **Costa** | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $C_{totais}$ | 1.00E+07 | [un/100ml] | $C_{totais}$ | 1433.2282 | [un/100ml] |
| $C_{fecais}$ | 1.00E+06 | [un/100ml] | $C_{fecais}$ | 143.32282 | [un/100ml] |

**Dimensionamento Estrutural**

**Características da agitação marítima**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_R$ | 100 | [anos] | *Período de Retorno* |
| $H_{des}$ | 8.5 | [m] | *Altura de Onda de Projeto* |
| $T_{des}$ | 9 | [s] | *Período de Projeto* |
| $L_0$ | 126 | [m] | *Comprimento de Onda* |

| Zona de Rebentação | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Batimétrica | $(H/L_0)_{MÁX}$ | $H_{MÁXMiche}$ | 0.78*d | $H_{design}$ | Rebentação |
| [m] | [-] | [m] | [m] | [m] | |
| 1 | 0.0070 | 0.89 | 0.78 | 0.78 | Zona de Rebentação |
| 2 | 0.0140 | 1.78 | 1.56 | 1.56 | Zona de Rebentação |
| 3 | 0.0210 | 2.65 | 2.34 | 2.34 | Zona de Rebentação |
| 4 | 0.0278 | 3.52 | 3.12 | 3.12 | Zona de Rebentação |
| 5 | 0.0345 | 4.37 | 3.90 | 3.9 | Zona de Rebentação |
| 6 | 0.0411 | 5.19 | 4.68 | 4.68 | Zona de Rebentação |
| 7 | 0.0474 | 6.00 | 5.46 | 5.46 | Zona de Rebentação |
| 8 | 0.0536 | 6.77 | 6.24 | 6.24 | Zona de Rebentação |
| 9 | 0.0595 | 7.52 | 7.02 | 7.02 | Zona de Rebentação |
| 10 | 0.0652 | 8.24 | 7.80 | 7.8 | Zona de Rebentação |
| 11 | 0.0706 | 8.93 | 8.58 | 8.5 | Ok |
| 12 | 0.0758 | 9.58 | 9.36 | 8.5 | Ok |
| 13 | 0.0807 | 10.20 | 10.14 | 8.5 | Ok |
| 14 | 0.0853 | 10.79 | 10.92 | 8.5 | Ok |
| 15 | 0.0897 | 11.34 | 11.70 | 8.5 | Ok |

| Dimensionamento de anéis de betão | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CD | 2 | | $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | | e | 5 | [m] |
| CM | 2 | | $\gamma_{betão}$ | 25 | [kN/m$^3$] | | Ø' | 30 | [$^o$] |
| CL | 1 | | $\gamma_{PEAD}$ | 8.829 | [kN/m$^3$] | | F.S. | 1.5 | [-] |
| | | | $W_{u.c.}$ | 0.140283 | [kg/m] | | kN/m | | |

**Cenário 1 - Solução optimizada, Todos os anéis diferentes**

| $\triangle$Z | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [m$^3$] |
| 0-1 | 0 | Zona de Rebentação | | | |
| 1-2 | 117 | | | | |
| 2-3 | 233 | | | | |
| 3-4 | 350 | | | | |
| 4-5 | 500 | | | | |
| 5-6 | 685 | | | | |
| 6-7 | 901 | | | | |
| 7-8 | 1142 | | | | |
| 8-9 | 1400 | | | | |
| 9-10 | 1667 | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 2 | 5254 | 2.06 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 2 | 4999 | 1.96 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 2 | 4743 | 1.86 |

**Cenário 2 - Todos os anéis iguais**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 2 | 5505 | 2.16 |

**Cenário 3 - Blocos diferentes em intervalos de 100m**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 2 | 5505 | 2.16 |

**Cenário 4 - Apenas 2 tipos de anéis**

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel |
|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] |
| 0-1 | Zona de Rebentação | | | | |
| 1-2 | | | | | |
| 2-3 | | | | | |
| 3-4 | | | | | |
| 4-5 | | | | | |
| 5-6 | | | | | |
| 6-7 | | | | | |
| 7-8 | | | | | |
| 8-9 | | | | | |
| 9-10 | | | | | |
| 10-11 | 1945 | 436 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 11-12 | 2185 | 494 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 12-13 | 2082 | 469 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 13-14 | 1978 | 444 | 2 | 5505 | 2.16 |
| 14-15 | 1874 | 419 | 2 | 5505 | 2.16 |

## Comparação de Resultados

| Cenário | $\sum N_{anéis}$ | $V_{total\ betão}$ | |
|---|---|---|---|
| [-] | [-] | [$m^3$] | Descrição |
| 1 | 10.99989 | 22 | *Todos os anéis diferentes* |
| 2 | 10.99989 | 24 | *Todos os anéis iguais* |
| 3 | 10.99989 | 24 | *Aneis iguais em intervalos de 100m* |
| 4 | 10.99989 | 24 | *Apenas 2 tipos de anel* |

## Anéis de Afundamento - Zona de Rebetanção

| $\Delta Z$ | $F_H$ | $F_V$ | $N_{anéis}$ | $W_{anel}$ | $V_{betão}$/anel | $V_{betão}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [N/m] | [N/m] | [-] | [kg] | [$m^3$] | [$m^3$] |
| 0-1 | 0 | 0 | 6.7 | 258 | 0.10 | 0.68 |
| 1-2 | 0 | 0 | 6.7 | 258 | 0.10 | 0.68 |
| 2-3 | 0 | 0 | 6.7 | 258 | 0.10 | 0.68 |
| 3-4 | 0 | 0 | 6.7 | 258 | 0.10 | 0.68 |
| 4-5 | 0 | 0 | 6.7 | 258 | 0.10 | 0.68 |
| 5-6 | 0 | 0 | 5.3 | 258 | 0.10 | 0.54 |
| 6-7 | 0 | 0 | 5.3 | 258 | 0.10 | 0.54 |
| 7-8 | 0 | 0 | 5.3 | 258 | 0.10 | 0.54 |
| 8-9 | 0 | 0 | 5.3 | 258 | 0.10 | 0.54 |
| 9-10 | 0 | 0 | 5.3 | 258 | 0.10 | 0.54 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $\sum N_{anéis}$ | 60.1 | $V_{total\ betão}$ | 6.09 | [$m^3$] |

**Zona de Rebentação - Proteção de Enrocamento**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $T_{design}$ | 15 | [s] | *Período de Projeto* |
| S | 2 | [-] | *Nível de estragos admissível* |
| $\gamma_{material}$ | 29 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico dos Blocos* |
| $\gamma_{mar}$ | 10.25 | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $N_{PMAV}$ | 2.9 | [m] | *Nível de Água em Preia Mar* |
| tg $\theta$ | 0.5 | [-] | *Inclinação dos Taludes* |

Proteção de Enrocamento

| $Z_{fundo}$ | $N_{PMAV}$ | $Z_{coroamento}$ | $h_c$ | d | $H_{des}$ | $D_{n50}$ | $W_{van\ der\ Meer}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kN] | [kg] |
| 0 | 2.9 | 1.69 | 1.69 | 2.9 | 0.78 | 0.15 | 0.1 | 0.01 |
| -1 | 2.9 | 0.69 | 1.69 | 3.9 | 1.56 | 0.25 | 0.4 | 0.04 |
| -2 | 2.9 | -0.31 | 1.69 | 4.9 | 2.34 | 0.33 | 1.0 | 0.10 |
| -3 | 2.9 | -1.31 | 1.69 | 5.9 | 3.12 | 0.40 | 1.8 | 0.18 |
| -4 | 2.9 | -2.31 | 1.69 | 6.9 | 3.9 | 0.46 | 2.8 | 0.29 |
| -5 | 2.9 | -3.31 | 1.69 | 7.9 | 4.68 | 0.52 | 4.1 | 0.42 |
| -6 | 2.9 | -4.31 | 1.69 | 8.9 | 5.46 | 0.58 | 5.6 | 0.57 |
| -7 | 2.9 | -5.31 | 1.69 | 9.9 | 6.24 | 0.63 | 7.4 | 0.76 |
| -8 | 2.9 | -6.31 | 1.69 | 10.9 | 7.02 | 0.69 | 9.5 | 0.97 |
| -9 | 2.9 | -7.31 | 1.69 | 11.9 | 7.8 | 0.74 | 11.8 | 1.20 |
| -10 | 2.9 | -8.31 | 1.69 | 12.9 | 8.58 | 0.79 | 14.4 | 1.47 |

Escalonamento

Ribeira Brava - Proteção de Enrocamento

| $\Delta Z$ | $\Sigma L$ | Trecho | $h_c$ | $D_{n50}$ | $W_{M.R.}$ | $W_{Núcleo}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [t] | [kg] |
| 0-1 | 33.6 | 1 | 1.25 | 0.35 | 0.12 | 12.3 |
| 1-2 | 67.1 | 1 | 1.25 | 0.35 | 0.12 | 12.3 |
| 2-3 | 100.7 | 1 | 1.25 | 0.35 | 0.12 | 12.3 |
| 3-4 | 134.3 | 2 | 1.44 | 0.54 | 0.48 | 47.7 |
| 4-5 | 167.8 | 2 | 1.44 | 0.54 | 0.48 | 47.7 |
| 5-6 | 194.3 | 2 | 1.44 | 0.54 | 0.48 | 47.7 |
| 6-7 | 220.8 | 3 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 7-8 | 247.3 | 3 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 8-9 | 273.8 | 3 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |
| 9-10 | 300.3 | 3 | 1.69 | 0.79 | 1.47 | 147.0 |

| Varíaveis | | |
|---|---|---|
| $T_R$ | [anos] | *Tempo de retorno* |
| $H_{máx}$ | [m] | *Altura máxima de onda* |
| T | [s] | *Período de Onda* |
| L | [m] | *Comprimento de Onda* |
| $(H/L)_{máx}$ | [-] | *Declividade máxima de Miche* |
| $H_{design}$ | [m] | *Altura de Onda de Dimensionamento* |
| $C_D$ | [-] | *Coeficiente de Resistência* |
| $C_M$ | [-] | *Coeficiente de Inércia* |
| $C_L$ | [-] | *Coeficiente de Sustentação* |
| $\gamma_{mar}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da Água do Mar* |
| $\gamma_{betão}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico do Betão* |
| $\gamma_{PEAD}$ | [kN/m$^3$] | *Peso Volúmico da conduta de PEAD* |
| $W_{u.c.}$ | [kg/m] | *Massa Unitária da conduta de PEAD* |
| e | [m] | *Espaçamento entre Anéis* |
| Ø' | [°] | *Ângulo de Atrito da Interface Anel de Betão - Fundo Marítimo* |
| F.S. | [-] | *Fator de Segurança* |
| $F_H$ | [N/m] | *Força Horizontal unitária* |
| $F_V$ | [N/m] | *Força Vertical Unitária* |
| $N_{anéis}$ | [-] | *Número de Anéis de Betão* |
| $W_{anel}$ | [kg] | *Massa de um Anel de Betão* |
| $Z_{fundo}$ | [m] | *Cota do Fundo* |
| $N_{PMAV}$ | [m] | *Nível de água em Preia-Mar* |
| $Z_{coroamento}$ | [m] | *Cota do Coroamento* |
| $h_c$ | [m] | *Altura da Proteção de Enrocamento* |
| d | [m] | *Profundidade* |
| $W_{núcleo}$ | [kg] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Núcleo* |
| $W_{M.R.}$ | [t] | *Peso dos Blocos de Enrocamento a Empregar no Manto Resistente* |
| $D_{n50}$ | [m] | *Dimensão Média dos Blocos* |